



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

## **SVARTSENGI**

**Reiknilíkan af jarðhitakerfi**

Verkfræðistofan Vatnaskil hf.

Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja

OS-89031/JHD-05

Ágúst 1989



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

# **SVARTSENGI**

## **Reiknilíkan af jarðhitakerfi**

Verkfræðistofan Vatnaskil hf.

Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja

OS-89031/JHD-05

Ágúst 1989

## EFNISYFIRLIT

MYNDASKRÁ	2
TÖFLUSKRÁ	6
1. INNGANGUR	7
2. MÆLINGAR OG ÚRVINNSLA	7
2.1 Vinnsla úr jarðhitasvæðinu	7
2.2 Vatnsborðsmælingar	8
2.3 Viðnámsmælingar	9
2.4 Efnabreytingar	9
3. REIKNILÍKAN	10
3.1 Líkanstuðlar	10
3.2 Líkan af þrýstilækkun	10
3.3 Líkan af efna- og hitabreytingum	11
4. FRAMTÍÐARHORFUR	12
4.1 Niðurdælingarstaður A	12
4.2 Niðurdælingarstaður B	13
4.3 Niðurdælingarstaður C	14
4.4 Niðurdælingarstaður D	15
4.5 Niðurdælingarstaður E	16
4.6 Niðurdælingarstaður F	16
4.7 Niðurdælingarstaður G	17
5. NIÐURSTÖÐUR	18
HEIMILDASKRÁ	19
VIÐAUKI: Straumfræðilíkan	105

## MYNDASKRÁ

1. Svartsengi. Yfirlitsmynd	21
2. Svartsengi. Staðsetning hola	22
3. Svartsengi. Vatnsborðsmælingar	23
4. Svartsengi. Áætluð hitadreifing á 600 m dýpi	24
5. Svartsengi. Styrkur joðíðs í niðurdælingartilraun 1984	25
6. Svartsengi. Styrkur klóríðs í holu 6	26
7. Svartsengi. Líkansvæði	27
8. Svartsengi. Leiðnigildi	28
9. Svartsengi. Leiðni í jarðhitasvæði	29
10. Svartsengi. Holrýmd	30
11. Svartsengi. Misleitni	31
12. Svartsengi. Misleitnihorn (sprungustefna)	32

13. Svartsengi. Misleitnihorn á jarðhitasvæði	33
14. Svartsengi. Lega suðusvæðis	34
15. Svartsengi. Vatnsborð í holu 5 1976-1978	35
16. Svartsengi. Vatnsborð í holu 4 1980-1988	36
17. Svartsengi. Þrýstilækkun í holu 8 1980-1988	37
18. Svartsengi. Áhrif niðurdælingar á þrýsting 1984-1988	38
19. Svartsengi. Reiknuð útbreiðsla þrýstilækkunar vorið 1988	39
20. Svartsengi. Reiknuð þrýstilækkun í Svartsengi og Eldvörpum	40
21. Svartsengi. Reiknað streymi vorið 1988	41
22. Svartsengi. Styrkur jodíðs í holu 6 júlí-des. 1984	42
23. Svartsengi. Styrkur jodíðs í holu 7 júlí-des. 1984	43
24. Svartsengi. Styrkur jodíðs í holu 8 júlí-des. 1984	44
25. Svartsengi. Styrkur jodíðs í holu 9 júlí-des. 1984	45
26. Svartsengi. Styrkur jodíðs í holu 11 júlí-des. 1984	46
27. Svartsengi. Styrkur klóríðs í holu 6 1984-1988	47
28. Svartsengi. Reiknuð áhrif niðurdælingar á dreifingu klóríðs í febrúar 1988	48
29. Svartsengi. Reiknuð kæling í holu 6 1984-1988	49
30. Svartsengi. Reiknuð færsla 235°C hitalínu vegna niðurdælingar 1984-1988	50
31. Svartsengi. Vatnsborð í holu 4 1976-2010, engin niðurdæling frá 1993	51
32. Svartsengi. Staðsetning niðurdælingar	52
33. Svartsengi. Vatnsborð í holu 4 1976-2010, niðurdælingarstaður A frá 1993	53
34. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað A	54
35. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 200 kg/s niðurdælingar af 70°C á stað A	55
36. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað A	56
37. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 200 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað A	57
38. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað A	58
39. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 100 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað A	59
40. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað A	60

41. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 100 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað A	61
42. Svartsengi. Reiknað hitastig í holu 6 árin 1993-2010 þegar dælt er niður í stað A	62
43. Svartsengi. Vatnsborð í holu 4 1976-2010, niðurdælingarstaður B frá 1993	63
44. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlinunnar vegna 250 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað B	64
45. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 250 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað B	65
46. Svartsengi. Vatnsborð í holu 4 1976-2010, niðurdælingarstaður C frá 1993	66
47. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlinunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað C	67
48. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 200 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað C	68
49. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlinunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað C	69
50. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 200 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað C	70
51. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlinunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað C	71
52. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 100 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað C	72
53. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlinunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað C	73
54. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 100 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað C	74
55. Svartsengi. Vatnsborð í holu 4 1976-2010, niðurdælingarstaður D frá 1993	75
56. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlinunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar af 70°C á stað D	76
57. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 200 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað D	77
58. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlinunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað D	78
59. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 200 kg/s niðurdælingar af 15°C vatni á stað D	79
60. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlinunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað D	80
61. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 100 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað D	81
62. Svartsengi. Reiknað hitastig í holu 6 árin 1993-2010 þegar dælt er niður í stað D	82

63. Svartsengi. Vatnsborð í holu 4 1976-2010, niðurdælingarstaður E frá 1993	83
64. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað E	84
65. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 200 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað E	85
66. Svartsengi. Vatnsborð í holu 4 1976-2010, niðurdælingarstaður F, hola 12	86
67. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað F, hola 12	87
68. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 200 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað F, hola 12	88
69. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað F, hola 12	89
70. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 200 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað F, hola 12	90
71. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað F, hola 12	91
72. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 100 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað F, hola 12	92
73. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað F, hola 12	93
74. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 100 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað F, hola 12	94
75. Svartsengi. Vatnsborð í holu 4 1976-2010, niðurdælingarstaður G, frá 1993	95
76. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað G	96
77. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 200 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað G	97
78. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað G	98
79. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 200 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað G	99
80. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað G	100
81. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 100 kg/s niðurdælingar af 70°C vatni á stað G	101
82. Svartsengi. Reiknuð færsla 10°C kólnunarlínunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað G	102
83. Svartsengi. Reiknuð kólnun árin 1993-2010 vegna 100 kg/s niðurdælingar af 150°C vatni á stað G	103

## TÖFLUSKRÁ

1. Vinnsla úr jarðhitasvæðinu	8
2. Niðurdæling í holu 12	8
3. Niðurdráttur og vinnsla	9
4. Meðalvinnsla á árinu 1986	12
5. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010. Niðurdæling 200 kg/s á stað A	13
6. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010. Niðurdæling 100 kg/s á stað A	13
7. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010 Niðurdæling 250 kg/s á stað B	14
8. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010 Niðurdæling 100 kg/s á stað B	14
9. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010 Niðurdæling 200 kg/s á stað C	14
10. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010 Niðurdæling 100 kg/s á stað C	15
11. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010 Niðurdæling 200 kg/s á stað D	15
12. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010 Niðurdæling 100 kg/s á stað D	15
13. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010 Niðurdæling 200 kg/s á stað E	16
14. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010 Niðurdæling 100 kg/s á stað E	16
15. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010 Niðurdæling 200 kg/s á stað F, hola 12	16
16. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010 Niðurdæling 100 kg/s á stað F, hola 12	17
17. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010 Niðurdæling 200 kg/s á stað G	17
18. Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010 Niðurdæling 100 kg/s á stað G	17

## 1. INNGANGUR

Að undanfögnu hefur Verkfræðistofan Vatnaskil unnið að gerð reiknilíkans af jarðhitakerfinu í Svartsengi. Verkið er unnið fyrir Orkustofnun vegna Hitaveitu Suðurnesja. Staðsetning jarðhitasvæðisins í Svartsengi á utanverðum Reykjaneskaga er sýnd á myndum 1 og 2. Tilgangurinn með uppsetningu reiknilíkansins er að fá fram reiknitæki, sem auðveldar að meta hegðun jarðhitakerfisins í framtíðinni. Er þá einkum átt við þau áhrif sem aukin niðurdæling í jarðhitakerfið hefur á þrýsting á svæðinu, svo og hvort fram komi varanleg kólnun og breytingar á efnainnihald jarðhitavökvans.

Rannsóknir á jarðhitasvæðinu í Svartsengi hófust 1969, og á árunum 1971 til 1977 voru fyrstu holurnar boraðar og þar með fékkst staðfesting á tilvist jarðhitakerfisins sem er háhitasvæði. Margar rannsóknarskýrslur hafa verið gefnar út af Orkustofnun, sem fjalla um rannsóknir í Svartsengi, en í eftirtöldum skýrslum er gerð sérstaklega grein fyrir straumfræði jarðhitakerfisins, sjá Jónas Elíasson o.fl.(1977), og Snorri Páll Kjarran o.fl. (1980).

Skipulögð vinnsla úr svæðinu hófst 18. október 1976, en alls hafa verið boraðar tólf holur, sem eru 200 m til um 2ja km djúpar.

Ekki verður fjallað sérstaklega um jarðfræði Svartsengissvæðisins í þessari skýrslu enda hefur verk þetta verið unnið í nánú samstarfi við Hjalta Franzson jarðfræðing á Orkustofnun og samhliða þessari skýrslu kemur út önnur skýrsla sem sérstaklega fjallar um jarðfræðina og þar með þær jarðfræðilegu forsendur sem reiknilíkanið byggir á.

## 2. MÆLINGAR OG ÚRVINNSLA

Grundvöllur reiknilíkans af jarðhitakerfinu í Svartsengi er sú gagnasöfnun og þær nælingar sem gerðar hafa verið þar frá því rannsóknir hófust á fyrri helmingi áttunda áratugarins. Er þá einkum átt við gögn um þrýstilækkun á svæðinu, vinnsla úr borholum svo og viðnámsmælingar og mælingar á efnainnihaldi og hitastigi jarðhitavökvans. Ekki verður þessari gagnasöfnun gerð tæmandi skil hér heldur einungis stiklað á því helsta, enda hafa komið út með reglulegu millibili skýrslur sem greina frá þeim mælingum sem gerðar hafa verið, bæði hvað varðar vinnslusöguna og efnafræði jarðhitavökvans. Að auki kemur út samhliða þessari skýrslu yfirlitsskýrsla um borholumælingar frá upphafi.

### 2.1 Vinnsla úr jarðhitasvæðinu

Tafla 1 hér á eftir sýnir heildarvinnslu úr jarðhitakerfinu í Svartsengi frá upphafi vinnslu.

Í töflunni er niðurdæling dregin frá heildarvinnslu, en hún hófst með niðurdælingartilraun á tímabilinu júlí-desember 1984, en frá 10.janúar 1985 til loka maí 1988 hefur verið dælt reglulega ofan í holu 12.

Tafla 2 gefur yfirlit yfir niðurdælingu í holu 12. Varðandi frekari upplýsingar um vinnslusöguna í Svartsengi vísast til Verkfræðistofunnar Vatnaskila (1985) og (1988).

Eins og sést af töflunni hafði rúmlega 4 milljónum tonna verið dælt niður í lok árs 1987 og er meðalniðurdælingin það ár rúmlega 40 kg/s en það svarar til tæplega 15% af heildarvinnslunni.



TAFLA 1. Vinnsla úr jarðhitasvæðinu

Ár	Vinnsla millj. tonn	Heildarvinnsla í árslok millj. tonn	Meðalvinnsla kg/s
1976	0,21	0,21	26,4
1977	1,07	1,28	33,9
1978	1,63	2,91	51,7
1979	3,19	6,10	101,2
1980	4,30	10,44	136,0
1981	7,48	17,92	237,2
1982	7,58	25,50	240,4
1983	7,60	33,10	241,0
1984	7,90	41,00	249,8
1985	7,75	48,75	245,8
1986	8,24	56,99	261,3
1987	8,00	64,99	253,7
1988*	5,26	70,25	338,2

\* Til 1. júlí 1988

TAFLA 2 Niðurdæling í holu 12

Ár	Niðurdæling millj. tonn	Heildarniður- dæling í árslok millj. tonn	Meðal - niðurdæling kg/s
1984	0,32	0,32	21,9
1985	0,94	1,26	29,8
1986	1,73	2,99	54,9
1987	1,35	4,34	42,8
1988*	0,61	4,95	39,2

\* Til 1. júlí 1988

## 2.2 Vatnsborðsmælingar

Mæld vatnsborðslækkun úr jarðhitasvæðinu frá upphafi er sýnd á mynd 3 og í töflu 3 er hún sýnd ásamt meðalvinnslunni.

Mynd 3 og tafla 3 sýna greinilega að niðurdráttur vex stöðugt með aukinni vinnslu fram undir lok ársins 1985, en þá breytir skyndilega um. Þegar þetta kom í ljós var ákveðið að kanna betur vatnsborðsmælingar í holu H-4. Það var gert og hefur hola verið hitamæld og þrýstimæld. Við þá mælingu kom í ljós að efsti hluti hennar er í suðu og gefa því vatnsborðsmælingar í holunni ranga hugmynd um þrýstilækkun í jarðhitakerfinu. Þetta sést betur ef skoðaðar eru þrýstimælingar úr öðrum holum á svæðinu. Inn á mynd 3 hefur verið færð til samanburðar þrýstilækkun á 700 m dýpi í holu 7. Þar sést að niðurdráttur eykst stöðugt og engrar hækkunar verður vart í þrýstimælingum á árinu 1985, þegar vatnsborð í holu 4 byrjar að haga sér einkennilega. Nýjasta þrýstimæling í holu 7 er frá því í október 1988 og bendir hún til að niðurdráttur sé orðinn um 170 m. Þrýstimælingar í öðrum holum eru í samræmi við mælingar í holu 7. Ýtarlegri umfjöllun um vatnsborðslækkunina er að finna í skýrslum þeim sem getið er í kafla 2.1.

TAFLA 3 Niðurdráttur og vinnsla

Ár	Meðalvinnsla kg/s	Niðurdráttur á árinu m	Mældur niður- dráttur í árslok m
1976	26,4	2,4	2,4
1977	33,9	9,2	11,6
1978	51,7	8,4	20,0
1979	101,2	10,0	30,0
1980	136,0	17,0	47,0
1981	237,2	35,4	82,4
1982	240,4	16,3	98,7
1983	241,0	19,8	118,5
1984	249,8	16,1	134,6
1985	245,8	13,4	148,0
1986	261,3	- 34,4	113,6
1987	253,7	- 5,3	108,3
1988*	338,2	1,0	109,3

\* Til 1. júlí 1988

### 2.3 Viðnámsmælingar

Allvíðtækar viðnámsmælingar hafa á undanförunum árum verið gerðar á utanverðu Reykjanesi (Lúðvík S. Georgsson 1979,1981,1983). Á grundvelli þeirra og hitamælinga í borholum hefur hitastig á 600 m dýpi verið áætlað eins og mynd 4 sýnir. Hitadreifingin er síðan notuð við ákvörðun á lekt jarðlaga, en það er mikilvægur stuðull við gerð reiknilíkansins.

### 2.4 Efnabreytingar

Á seinni hluta ársins 1984 (júlí-desember) var gerð niðurdælingartilraun í Svartsengi, í þeim tilgangi m.a. að kanna samgang á milli hola. Hola 12 var valin sem niðurdælingarhola og þann 27.júlí 1984 var kalíumjodíð sett í holuna. Næstu mánuði á eftir voru sýni tekin reglulega til greininga á jodíði. Niðurstöður þeirra greininga eru á mynd 5. Bakgrunnsstyrkur jodíðs í jarðhitavökvannum er um 70-80 ppb (míkrógrömm/kg). Af myndinni sést að mest svörun fæst í holu 6 en engin í holum 9 og 11. Varðandi nánari umfjöllun um niðurdælingartilraunina sjá Trausta Hauksson (1985).

Í janúar 1985 hófst samfelld niðurdæling í holu 12 eins og fram kemur í kafla 2.1. Dælt er niður fersku vatni um 70°C heitu. Klórídinnihald þess vatns er í kringum 62 mg/kg, en klórídinnihald jarðhitavökvans er um 13000 mg/kg. Einungis í holu 6 hefur enn sem komið er orðið breyting á klóríðstyrk eins og mynd 6 sýnir. Varðandi nánari umfjöllun um efnafræði jarðhitavökvans vísast til Jóns Arnar Bjarnasonar (1988).

### 3. REIKNILÍKAN

Í þessum kafla er gerð grein fyrir aðlögun reiknilíkans að þeim gögnum sem fyrir liggja og stuttlega er lýst í 2. kafla. Það er nauðsynlegt svo unnt sé að nota líkanið til að meta hegðun jarðhitasvæðisins í framtíðinni. Í fyrsta lagi er reiknilíkanið aðlagð þrýstilækkun á svæðinu og þar með streymi jarðhitavökvans. Í öðru lagi er líkanið aðlagð þeim efna- og hitabreytingum sem orðið hafa á jarðhitasvæðinu.

#### 3.1 Líkanstuðlar

Mynd 7 sýnir svæðið sem reiknilíkanið nær yfir. Alls er svæðið 1104 km<sup>2</sup>. Jaðar svæðisins í vestri og norðri er gamla grágrýtismyndunin. Í austri liggur jaðarinn á mörkum tveggja sprungusveima. Gert er ráð fyrir að ekki sé samgangur á milli þess sprungusveims sem Trölladyngja liggur á og þess sem liggur um utanvert Reykjanes, og jarðhitasvæðin þrjú eru innan.

Myndir 8 og 9 sýna leiðnigildin sem notuð eru í líkaninu. Eins og þar sést skiptist leiðnin í þrjá megin flokka. Inn á sjálfum jarðhitasvæðunum er leiðnin mikil, 850 mDarcy, um  $2-3 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>, miðað við 1000 m þykkun vatnsleiðara og hitadreifingu eins og sýnd er á mynd 4. Þá er tiltölulega há leiðni í jarðskjálftarennunni, en hins vegar lítil leiðni í gamla berginu eða um 10 mDarcy. Há leiðni í jarðskjálftarennunni fékkst m.a. staðfest með nýlegum þrýstimælingum í borholu í Eldvörpum. Þær mælingar sýna að veruleg þrýstilækkun hefur átt sér stað í Eldvörpum samfara vinnslu úr borholum í Svartsengi, en það bendir einmitt til hárrar leiðni milli Svartsengis og Eldvarpa. Mynd 10 sýnir áætlaða dreifingu holrýmdar í berginu. Í annan stað er holrýmdin meiri í gamla berginu heldur en innan jarðhitasvæðanna. Minni holrýmd innan jarðhitasvæðanna má rekja til holufyllinga og innskota.

Mynd 11 sýnir kvaðratrót af hlutfalli leiðni í sprungustefnu og hornrétt á þá stefnu, en sprungustefnurnar eru sýndar á mynd 12 og 13. Innan skjálftarennunnar er leiðnin 5 sinnum minni þvert á sprungur. Þetta þýðir að meðalleiðnin er um 170 mDarcy inná jarðhitasvæðunum. Í gamla berginu er hlutfall leiðninnar fertugfalt sem þýðir að meðalleiðnin er um 0,2 mDarcy. Eins og sést á mynd 12 er meginsprungustefnan í suðvestur-norðaustur. Hins vegar hafa komið fram sprungur innan Svartsengissvæðisins sem hafa norður-suður stefnu eins og mynd 13 sýnir. Stærð og lega suðusvæðisins eins og það er skilgreint í líkaninu, sjá viðauka, eru sýnd á mynd 14. Svæðið ákvarðast af jarðhitaummyndunum sem sjást á yfirborði svo og gömlum ummyndunum sem vitað er um. Stærð svæðisins er um 1,4 km<sup>2</sup> og grunnu holurnar 3 og 10 eru innan þess eins og vera ber, enda sést gufa þar á yfirborði.

#### 3.2 Líkan af þrýstilækkun

Fyrstu ár vinnslu í Svartsengi var þrýstilækkun í jarðhitakerfinu mæld með vatnsborðsmælingum í holu 5, en þá var unnið úr holum 2, 3 og 4. Samanburður á mældri og reiknaðri vatnsborðslækkun er sýndur á mynd 15. Þar sést að reiknaði ferillinn fellur vel að þeim mælda. Einkenni ferlanna er að fyrstu 10 dagana er vatnsborðslækkunin lítil, en eykst síðan verulega. Ástæður þessa eru að vatnsleiðarinn er takmarkaður þ.e. jarðhitasvæðið er umlukkið þéttum röndum eða bergi með lágri leiðni á þrjú vegu, eins og myndir 8 og 9 sýna.

Frá árinu 1980 var vatnsborð mælt samfellt í holu 4. Mynd 16 sýnir að reiknuð vatnsborðslækkun fellur vel að þeirri mældu. Eins og fram kemur í kafla 2.2 gefa mælingar í holu 4 frá seinni hluta árs 1985 ranga mynd af vatnsborðslækkuninni. Er það vegna þess að holan er í suðu. Hins vegar sést á myndinni að þrýstimælingar í holu 7 umreiknaðar yfir í vatnsborð falla vel að reiknaða ferlinum.

Í öllum holum á svæðinu hafa verið gerðar reglulegar þrýstimælingar. Um þær er fjallað í sérstakri skýrslu sem út kemur samhliða þessari. Allar þær mælingar eru í mjög góðu innra samræmi og sýna samskonar hegðun og mælingarnar í holu 7 á mynd 16. Þetta sést á mynd 17 en þar er reiknuð og mæld þrýstilækkun í holu 8.

Mynd 18 sýnir hvaða áhrif niðurdælingin sem hófst 1984 hefur á þrýstilækkun í jarðhitakerfinu. Myndin sýnir reiknaða þrýstilækkun með og án niðurdælingar. Þar sést að þrýstingur væri rúmlega 15 m lægri ef engin niðurdæling hefði verið.

Mynd 19 sýnir útbreiðslu þrýstilækkunarinnar eins og hún reiknast á miðju ári 1988. Þar sést að áhrifa vinnslunnar er farið að gæta all víða á Reykjaneskaganum. Í Eldvörpu reiknast til að mynda 100 m þrýstilækkun þau rúmlega 12 ár sem virkjunin hefur starfað í Svartsengi.

Mynd 20 sýnir tímaferil þrýstilækkunar í Eldvörpum. Þar sést að frá árinu 1983 og fram á mitt ár 1988 reiknast rúmlega 50 m þrýstilækkun, sem er í góðu samræmi við mælingar sem sýna 5-6 kg/cm<sup>2</sup> þrýstilækkun frá okt.'83 til apríl '89, eða um 10 m á ári.

Á mynd 21 er sýnt dæmi um reiknað streymi á jarðhitasvæðinu. Þar koma ljóslega fram áhrif norður-suður sprungnanna á streymið.

### 3.3 Líkan af efna- og hitabreytingum

Til að unnt sé að reikna hugsanlega kælingu vegna niðurdælingar í framtíðinni, þarf fyrst að ákvarða þá eiginleika jarðhitakerfisins sem hafa áhrif á útbreiðslu varma og efna. Til þess eru notuð gögn frá niðurdælingartilraunum 1984. Myndir 22-26 sýna mælda og reiknaða ferla joðíðs, en við niðurdælingartilraunina var notað kalíumjoðíð (Trausti Hauksson 1985). Eins og sést á myndunum falla reiknuðu ferlarnir í öllum meginráttum vel að þeim mældu. Mestur hluti efnisins kemur fram í holu 6 sem er eðlilegt þar sem ráðandi sprungustefna er nokkurn veginn milli holu 12 og 6. Ekkert af efninu kemur fram í holum 9 og 11 og mjög lítið í holu 7. Eins og áður er komið fram er bakgrunnsstyrkur joðíðs í jarðhitavökvanum 70-80 ppb.

Frá byrjun árs 1985 hefur um 70°C vatni verið dælt ofan í holu 12. Klóríðstyrkur þess er um 62 mg/kg. Þetta hefur valdið breytingum á efnainnihaldi jarðhitavökvens í holu 6. Mynd 27 sýnir að reiknilíkaníð nær langtíma áhrifum niðurdælingarinnar, en á myndinni er mæld og reiknuð breyting á styrk klóríðs sýnd. Mynd 28 sýnir reiknaða dreifingu klóríðs í byrjun árs 1988. Á myndinni sést að áhrifa niðurdælingar í holu 12 á styrk klóríðs í öðrum holum er ekki farið að gæta í reiknilíkaninu og er það í samræmi við niðurstöður mælinga (Jón Örn Bjarnason 1988).

Mynd 29 sýnir reiknaðan hita í holu 6, en eins og þar sést hefur orðið um 10°C kæling í holunni síðan niðurdælingin hófst, og er það í samræmi við mælingar. Engin kæling reiknast í öðrum holum sem rekja má til niðurdælingar eins og fram kemur á mynd 30, og er það einnig í samræmi við niðurstöður mælinga. Við útreikninga á styrk joðíðs í niðurdælingartilrauninni 1984 reyndist nauðsynlegt að þykkt vatnsleiðara væri 40 m. Þessi litla þykkt bendir til sprunguáhrifa eða skammhlaups milli holu 12 og 6. Við útreikninga á breytingum á styrk klóríðs reyndist þykktin hins vegar vera 850 m og er sú þykkt síðan notuð við alla útreikninga á hitabreytingum í jarðhitakerfinu. Niðurstöður varðandi breytingar á hita jarðhitakerfisins ber því að skoða sem meðalástand, því eftir sem áður er alltaf möguleiki á skammhlaupi, sem ekki er hægt að líkja eftir í reiknilíkaninu.

## 4. FRAMTÍÐARHORFUR

Eins og fram kemur í köflum 2 og 3 hefur þrýstingur stöðugt verið að lækka í Svartsengi og lækkanar er einnig farið að gæta á jarðhitasvæðinu í Eldvörpum. Nú er svo komið að af vinnslutæknilegum ástæðum er ekki talið ráðlegt að þrýstingur lækki mikið meir. Mynd 31 sýnir reiknaða þrýstilækkun í framtíðinni miðað við að engin niðurdæling eigi sér stað. Ljóst er af myndinni að við þetta verður ekki unað þar sem lækkanin verður orðin 450 m í árslok 2010. Hafa verður í huga að við svona mikla þrýstilækkun eru forsendur reiknilíkansins orðnar vafasamar, því að suðusvæðið væri væntanlega orðið útbreiddara, þannig að í líkaninu reiknaðist of mikil þrýstilækkun. Eins og sést á mynd 18 þá dregur niðurdæling úr þrýstilækkun, en getur hins vegar einnig valdið breytingum á efnasamsetningu jarðhitavökvans eins og mynd 27 sýnir og kólnun eins og myndir 29 og 30 sýna.

Reiknilíkanið er notað til að meta hvaða áhrif mismunandi niðurdæling á hinum ýmsu stöðum hefur á jarðhitakerfið í Svartsengi, bæði hvað varðar þrýstilækkun og kólnun. Þeir niðurdælingarstaðir sem athugaðir voru eru sýndir á mynd 32, merktir með bókstöfum frá A-H. Sem framtíðarvinnsla var meðalvinnslan frá árinu 1986 notuð, sjá töflu 4.

TAFLA 4 Meðalvinnsla árið 1986

Hola nr.	Vinnsla kg/s
5	54
6	43
7	54
8	51
9	58
10	4
11	54
12	55, niðurdæling

Niðurdælingarmagnið í töflu 4 var einungis notuð fram til áramótanna 1992-1993, en þá reiknast heildarþrýstilækkunin rúmir 260 metrar. Frá 1993 og fram til ársins 2010 var reiknað fyrir hvern niðurdælingarstað annars vegar það magn sem þarf að dæla niður svo engin viðbótar þrýstilækkun verði miðað við áramótin '92/'93 og hins vegar ef leyfð væri 100 m lækkan til viðbótar. Að því fengnu var reiknað hvort og þá hversu mikil kæling yrði frá niðurdælingu fram til ársins 2010 miðað við tvö möguleg hitastig á niðurdælingarvatni 70°C, 150°C.

Rétt er að taka fram, að einungis verða reiknuð kólnunaráhrif niðurdælingarinnar sjálfrar en ekki kólnunin af völdum vinnslunnar, sem dregur til sín kaldara vatn utan jarðhitakerfisins, þar sem hitadreifing er eins og mynd 4 sýnir. Kólnun af þessum völdum hefur þegar gert vart við sig eins og kom í ljós á árunum 1982-1983, þegar skyndileg kólnun átti sér stað í öllum holum. Áætluð hitadreifing, eins og hún er sýnd á mynd 4, er ekki það nákvæm, að hún gefi tilefni til útreikninga á kólnun. Hafa verður því í huga að raunveruleg kólnun í framtíðinni verður meiri en reikningar hér á eftir sýna.

### 4.1 Niðurdælingarstaður A

Niðurdælingarstaður A er vestur af jarðhitasvæðinu í miðri jarðskjálftarennunni um 800 m frá vinnslusvæðinu. Mynd 33 sýnir hvernig þrýstingur á jarðhitasvæðinu myndi breytast með mismunandi niðurdælingu á stað A. Á myndinni sést að til að uppfylla skilyrðið um enga viðbótar þrýstilækkun miðað við áramótin '92/'93 þarf að dæla niður um 200 kg/s, sem er 62% af

vinnslu '86, en ef leyfð er 100 m þrýstilækkun til viðbótar þarf 100 kg/s niðurdælingu eða 31% af vinnslu '86.

Myndir 34-40 sýna áhrif niðurdælingarinnar á hitastig jarðhitageymisins. Myndir 34 og 35 sýna áhrifin af 200 kg/s niðurdælingu 70°C heits vatns. Eins og sést á myndinni er það í holum 7, 9 og 11 sem fram kemur kólnun vegna niðurdælingarinnar. Mest í holu 9 um 18°C. Ef hitastig niðurdælingar er 150°C, en magnið það sama, verður kólnunin eins og myndir 36 og 37 sýna þ.e. um 10°C þar sem hún er mest í holu 9. Fyrir 100 kg/s niðurdælingu er kælingin minni eins og myndir 38-41 sýna. Hins vegar hefur niðurdælingin engin teljandi áhrif á nyrðri hluta vinnslusvæðisins. Hóla 6 sem er á því svæði hefur hitnað, sjá mynd 42 miðað við lok árs 1992, en það er vegna þess að nú er í þessu tilfalli ekkert dælt ofan í holu 12. Eins og sést á mynd 42 hefur magn niðurdælingar á stað A hverfandi áhrif á holu 6.

Töflur 5 og 6 sýna áætlað hitastig árið 2010 í jarðhitageyminum miðað við að dælt sé niður á stað A.

*TAFLA 5 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010.  
Niðurdæling 200 kg/s á stað A*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	240	223	238	240	222	240	237	218
150°C	240	223	238	240	231	240	238	218

*TAFLA 6 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010.  
Niðurdæling 100 kg/s á stað A*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	240	223	239	240	233	240	239	218
150°C	240	223	239	240	236	240	239	218

## 4.2 Niðurdælingarstaður B

Niðurdælingarstaður B er í miðri jarðskjálftarennunni á milli Svartsengis og Eldvarpa í rúmlega 2 km fjarlægð frá vinnsluholum í Svartsengi. Á mynd 43 sést að það þarf 250 kg/s niðurdælingu svo þrýstingur lækki ekki frekar miðað við áramótin '92/'93. Þó svo að staður B sé þrefalt lengra frá vinnslusvæðinu en staður A þá þarf einungis 25% aukningu á niðurdælingu til að viðhalda þrýstingi á vinnslusvæðinu. Ef leyfð er 100 m þrýstilækkun frá árinu 1993 þá þarf rúmlega 100 kg/s niðurdælingu. Myndir 44-45 sýna áhrifin frá 250 kg/s niðurdælingu af 70°C heitu vatni. Eins og sést á myndunum er kólnunin innan vinnslusvæðisins hverfandi. Þannig er kólnun einungis um 3°C í holu 9 þar sem hún er mest í lok ársins 2010. Ef hitastig niðurdælingar vatnsins væri 150°C, eða ef magnið er 100 kg/s eru áhrifin enn minni eins og fram kemur á myndum 44 og 45. Töflur 7 og 8 sýna áætlað hitastig árið 2010 í jarðhitageyminum þegar dælt er niður á stað B.

Það er því ljóst að staður B er mun betri niðurdælingarstaður heldur en staður A hvað kólnunaráhrif varðar.

*TAFLA 7 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010.  
Niðurdæling 250 kg/s á stað B*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	240	223	239	240	236	240	239	218
150°C	240	223	239	240	236	240	239	218

*TAFLA 8 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010.  
Niðurdæling 100 kg/s á stað B*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	240	224	240	240	239	240	240	218
150°C	240	224	240	240	239	240	240	218

### 4.3 Niðurdælingarstaður C

Niðurdælingarstaður C er suðaustur af jarðhitasvæðinu í um 1000 m fjarlægð frá vinnslusvæðinu. Mynd 46 sýnir að það þarf um 200 kg/s niðurdælingu til að þrýstilækkun aukist ekki miðað við áramótin 1992/1993 og um 100 kg/s ef leyfð er 100 m lækkun til viðbótar. Myndir 47-54 sýna áhrif niðurdælingarinnar á hitastig jarðhitageymisins. Myndir 47-48 sýna áhrifin ef dælt er niður 200 kg/s af 70°C heitu vatni. Eins og þar sést kemur fram kólnun í jarðhitageyminum í holum 5 og 8, um 5°C á svæði holu 5 og um 2°C við holu 8. Á suðusvæðinu kringum holur 3 og 10 reiknast um 4°C kæling, en erfitt er að segja hvaða áhrif hún hefur á vinnslu úr suðusvæðinu. Athyglisvert er að engin kæling kemur fram í holum 7, 9 og 11, en þær eru í svipaðri fjarlægð frá stað C og holur 3 og 10. Þetta stafar af þeirri sprungustefnu sem er ríkjandi á svæðinu, en hún er nokkurn veginn í norður-suður stefnu.

Myndir 49 og 50 sýna reiknaða kólnun ef hitastig niðurdælingarvatnsins er 150°C og magnið 200 kg/s. Myndir 51-54 sýna svo áhrifin ef niðurdælingarmagnið er 100 kg/s. Samanborið við 200 kg/s þá er kólnunin um 2-3°C minni ef magnið er 100 kg/s. Varðandi holu 6 gildir að hún er undir mestum áhrifum af því að niðurdælingu er hætt í holu 12, sjá mynd 42. Þó svo hér sé dælt niður á stað C þá er hitaferillinn í henni mjög áþekkur og þar er sýndur. Tölur 9 og 10 sýna áætlað hitastig árið 2010 í jarðhitageyminum þegar dælt er niður á stað C.

*TAFLA 9 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010.  
Niðurdæling 200 kg/s á stað C.*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	235	227	240	238	240	237	240	218
150°C	236	227	240	238	240	237	240	218

*TAFLA 10 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010.  
Niðurdæling 100 kg/s á stað C*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	238	227	240	239	240	238	240	218
150°C	238	227	240	239	240	238	240	218

#### 4.4 Niðurdælingarstaður D

Niðurdælingarstaður D er norðaustur af vinnslusvæðinu í Svartsengi í svipaðri fjarlægð frá vinnsluholunum og staður C, enda eru ferlarnir á myndum 46 og 55 mjög svipaðir. Það þarf sama magn og áður til að viðhalda þrýstingi þ.e. 200 kg/s ef engin lökkun er leyfð og 100 kg/s ef þrýstilökkun verður 100 m lok árs 1992. Myndir 56 til 59 sýna kólnunarferla ef niðurdælingarmagníð er 200 kg/s. Eins og þar sést kemur eingöngu fram marktæk kæling á svæðinu kringum holur 3 og 10. Ef hiti niðurdælingarvatnsins er 70°C er mest kæling um 14°C en tæpar 9°C ef hitastigið er 150°C á niðurdælingarvatninu. Á myndum 60 og 61 eru niðurstöður fyrir 100 kg/s niðurdælingu af 70°C heitu vatni. Eins og þar sést er kólnunin óveruleg og er enn minni ef hitastigið er 150°C.

Töflur 11 og 12 sýna áætlað hitastig árið 2010 í jarðhitageyminum þegar dælt er niður á stað D.

*TAFLA 11 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010.  
Niðurdæling 200 kg/s á stað D*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	239	230	240	240	240	238	240	218
150°C	239	230	240	240	240	238	240	218

*TAFLA 12 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010  
Niðurdæling 100 kg/s á stað D*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	239	230	240	240	240	238	240	218
150°C	239	230	240	240	240	238	240	218

Ef sú er raunin að kælingin á svæðinu kringum holur 3 og 10 hafi lítil áhrif á vinnslu úr suðusvæðinu þá er niðurdælingarstaður D álitlegri en bæði A og C, þar sem hann hefur ekki áhrif á holurnar á syðri hluta vinnslusvæðisins. Mynd 62 sýnir hitaferilinn fyrir holu 6, en eins og þar sést er um að ræða sömu áhrif og áður er um rætt.

#### 4.5 Niðurdælingarstaður E

Staður E er vestan undir Þorbirni í um 1800 m fjarlægð frá vinnslusvæðinu. Nauðsynleg niðurdæling kemur fram á mynd 63. Hún er annars vegar 200 kg/s og hins vegar 100 kg/s eftir því hvort engin viðbótar þrýstilökkun er leyfð eða ef leyfð er 100 lökkun til viðbótar. Myndir 64 og 65 sýna kólnunarferla ef dælt er niður 200 kg/s af 70°C heitu vatni. Eins og sést á myndun-



um er um litla kælingu að ræða og hún er enn minni fyrir hin niðurdælingartilfellin á stað E.

Töflur 13 og 14 sýna áætlað hitastig árið 2010 í jarðhitageyminum þegar dælt er niður á stað E.

*TAFLA 13 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010  
Niðurdæling 200 kg/s á stað E*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	240	224	239	240	238	240	236	217
150°C	240	224	240	240	239	240	238	217

*TAFLA 14 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010.  
Niðurdæling 100 kg/s á stað E*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	240	224	240	240	239	240	238	217
150°C	240	224	240	240	240	240	238	217

#### 4.6 Niðurdælingarstaður F

Niðurdælingarstaður F er hola 12 þ.e. hér er gert ráð fyrir að haldið sé áfram að dæla niður í holu 12. Mynd 66 sýnir að nauðsynlegt niðurdælingarmagn sé annars vegar 200 kg/s og hins vegar 100 kg/s ef gert er ráð fyrir engri viðbótarlækkun eða að leyfð sé 100 m þrýstilækkun frá árinu 1992.

Myndir 67-70 sýna hvaða áhrif 200 kg/s niðurdæling í holu 12 hefur á jarðhitageyminn. Þar sést glögglega að svæðið kringum holur 5 og 6 hefur kólnað mjög mikið svo og svæði umhverfis holur 3 og 10. Þá er einnig farið að gæta kælingar á syðsta hluta vinnslusvæðisins sbr. kólnun í holu 8 á mynd 68. Myndir 71-74 sýna áhrif 100 kg/s niðurdælingar á jarðhitageyminn, þar sést að samanborið við myndir 67-70 eru áhrifin þau sömu en þó mun mildari, þannig er ekki farið að gæta neinnar kælingar yfir á suðusvæðið.

Töflur 15 og 16 sýna áætlað hitastig árið 2010 í jarðhitageyminum þegar dælt er niður á stað F.

*TAFLA 15 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010.  
Niðurdæling 200 kg/s á stað F, hola 12*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	172	115	240	235	240	221	240	
150°C	204	179	240	239	240	240	240	

*TAFLA 16 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010.  
Niðurdæling 100 kg/s á stað F, hola 12*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	215	140	240	239	240	240	240	
150°C	227	190	240	240	240	240	240	

Ljóst er af þessum niðurstöðum að framtíðar niðurdælingarstaður getur ekki verið innan vinnslusvæðisins, allavega ekki sé markmiðið að dæla því magni niður sem viðheldur þrýstingi í jarðhitageyminum.

#### 4.7 Niðurdælingarstaður G

Niðurdælingarstaður G er á suðusvæðinu í grennd við holur 3 og 10. Mynd 75 sýnir hliðstæða þrýstiferla og fyrir holu 12, enda við því að búast þar sem staðirnir liggja nærri hvor öðrum. Nauðsynlegt niðurdælingarmagn er hið sama og áður, þ.e. annars vegar 200 kg/s og hins vegar 100 kg/s. Í reikningum á hitadreifingu er ekki gert ráð fyrir að niðurdælingarvatnið geti hugsanlega hitnað við að fara í gegnum suðusvæðið, enda er mikil óvissa hvort slíkt gerist yfirleitt og þá í hvað miklum mæli. Hitastig niðurdælingarvatnsins er því eins og áður 70°C og 150°C. Myndir 76-79 sýna kólnunar línur vegna 200 kg/s niðurdælingar. Þar sést að áhrif eru mjög svipuð og við niðurdælingu í holu 12 nema hvað ekki er farið að gæta kólnunar í holu 8 og öðrum holum á syðri enda vinnslusvæðisins. Hliðstæð niðurstaða og fyrir holu 12 fæst einnig ef magn niðurdælingar er 100 kg/s.

Tölur 17 og 18 sýna áætlað hitastig árið 2010 í jarðhitageyminum þegar dælt er niður á stað G.

*TAFLA 17 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010.  
Niðurdæling 200 kg/s á stað G*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	209	147	240	240	240	105	240	186
150°C	224	195	240	240	240	169	240	215

*TAFLA 18 Áætlað hitastig við vinnsluholur í árslok 2010.  
Niðurdæling 100 kg/s á stað G*

Hitastig niðurdælingar	5	6	7	8	9	10	11	12
70°C	234	183	240	240	240	120	240	217
150°C	236	212	240	240	240	177	240	230

Þessar niðurstöður styrkja það sem fram kom í kafla 4.5 að framtíðar niðurdælingarstaðurinn verður að vera utan vinnslusvæðisins.

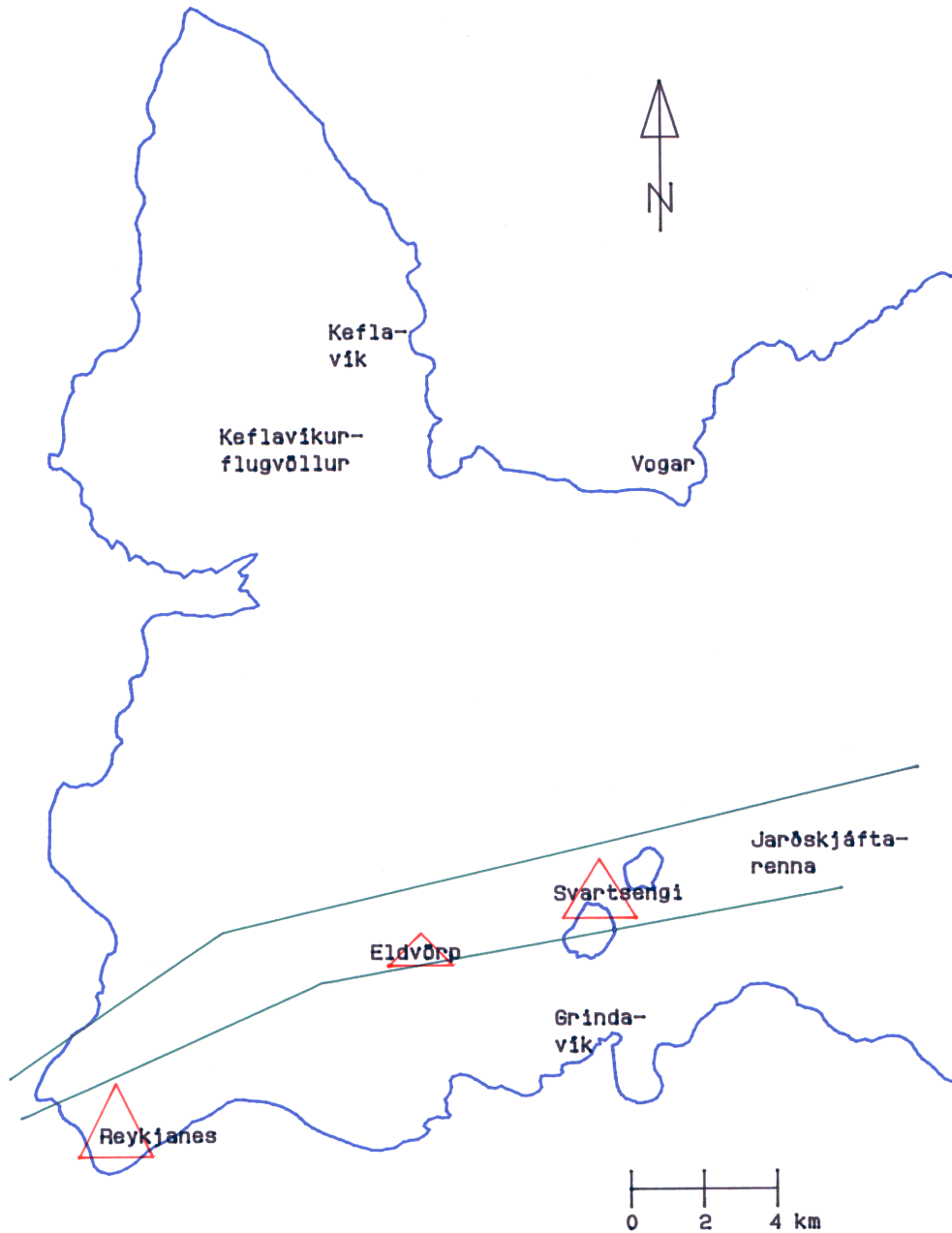
## 5. NIÐURSTÖÐUR

Meginniðurstöður þessa verks eru eftirfarandi:

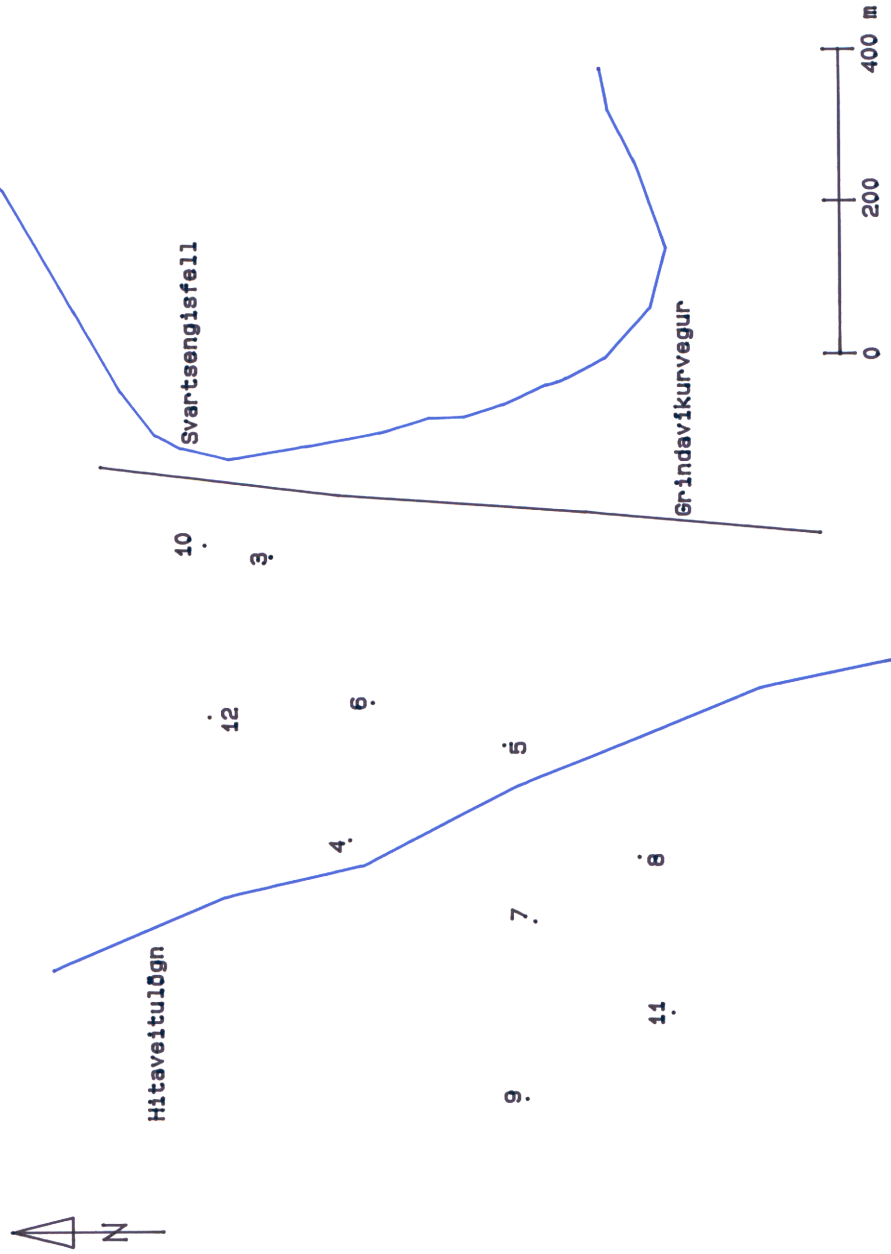
1. Gera má ráð fyrir að í lok ársins 1992 verði heildarþrýstilækkun á jarðhitasvæðinu í Svartsengi orðin um 260 m, verði vinnslan úr svæðinu svipuð og síðastliðin 3 ár. Hefur þrýstingur þá lækkað um rúma 80 m frá því sem hann er í dag.
2. Út frá sömu forsendum og í lið 1 fer að gæta verulegrar kólnunar í holu 6 vegna niðurdælingarinnar. Reikna má með að hitastig holunnar verði orðið um 205°C í lok ársins 1992 og einnig byrjað að gæta kólnunar í holu 5 um 3°C.
3. Í Eldvörpum má gera ráð fyrir að þrýstilækkun vegna vinnslu í Svartsengi verði orðin um 150 m í árslok 1992 miðað við sömu forsendur og í lið 1 hér á undan.
4. Ef engin niðurdæling á sér stað eftir 1993 verður þrýstilækkun á vinnslusvæðinu orðin 450 m í lok ársins 2010, miðað við vinnslu eins og hún var 1986.
5. Til að sporna við þrýstilækkun í framtíðinni er nauðsynlegt að dæla vatni niður í jarðhitakerfið. Almenn gildir að ef komast á hjá aukinni þrýstilækkun eftir árið 1993 og fram til ársins 2010 er nauðsynlegt að dæla niður 200 kg/s á stað sem er í innan við 1 km fjarlægð frá vinnslusvæðinu. Sé hins vegar farið lengra í burtu þarf um 250 kg/s til niðurdælingar.
6. Til að hindra kólnun af völdum niðurdælingar í framtíðinni er nauðsynlegt að fara með niðurdælingarstaðinn út fyrir vinnslusvæðið. Ef ekki á að leyfa neina kólnun á jarðhitasvæðinu samhliða kröfunni um enga aukna þrýstilækkun verður að hafa niðurdælingarstaðinn í 1,5-2 km fjarlægð frá vinnslusvæðinu. Er þá gert ráð fyrir að hitastig niðurdælingarvatns sé 70°C. Ef hinsvegar er gert ráð fyrir að hitastig niðurdælingarvatnsins sé 150°C styttest fjarlægðin í 1-1,5 km.
7. Ef leyfð er 100 m þrýstilækkun til viðbótar þeirri sem reiknast í árslok 1992 er nauðsynlegt niðurdælingarmagn um 100 kg/s, en þess ber þá að gæta að þrýstilækkunin verður þá orðin um 360 m í árslok 2010.
8. Miðað við niðurdælingarmagn 100 kg/s og kröfu um enga kólnun innan vinnslusvæðis er nauðsynleg fjarlægð niðurdælingarstaðar um 1,2-1,5 km sé hitastig niðurdælingarvatnsins 70°C og en um 1 km ef hitastigið er 150°C.
9. Ef haldið verður óbreyttum niðurdælingarstað næstu 20 árin má gera ráð fyrir að veruleg kólnun verði komin á miðhluta vinnslusvæðisins í árslok 2010 þ.e. á svæði hola 5 og 6 og að einnig verði farið að gæta kólnunar á syðsta og nyrsta hluta, þannig má gera ráð fyrir að hola 8 kólni um 5°C og svæðið umhverfis holu 10 um 20°C, en óvíst er hvaða áhrif kæling þar hefur á grunnar holur á suðusvæðinu.
10. Bestu niðurdælingarstaði framtíðarinnar verður að telja vestur af vinnslusvæðinu í áttina til Eldvarpa, einkum með tilliti til þess að þegar er farið að gæta þrýstilækkunar í Eldvörpum vegna vinnslu í Svartsengi. Niðurdælingarstaður mitt á milli Svartsengis og Eldvarpa mundi því nýtast báðum svæðunum. Einnig kæmi til greina að dæla niður norður af Svartsengisfellinu, en fyrst þyrfti þó að athuga nánar hvaða áhrif slíkt hefði á suðusvæðið samfara hugsanlegri aukinni vinnslu úr því.

## HEIMILDASKRÁ

- Jón Örn Bjarnason, 1988: *SVARTSENGI. Efnæfirlit 1980-1987*. Orkustofnun, OS-88001/JHD--01, 98 s.
- Jónas Elíasson, Sigurður St. Arnalds og Snorri Páll Kjaran, 1977: *SVARTSENGI. Straumfræðileg rannsókn á jarðhitasvæði*. Orkustofnun-OSROD-7718, 37 s (37 m.).
- Lúdvík S. Georgsson, 1979: *SVARTSENGI Viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga*. Orkustofnun, OS79042/JHD, 100 s.
- Lúdvík S. Georgsson, 1982: *Viðnámsmælingar í Eldvörpum haustið 1981*. Orkustofnun, OS82012/JHD01, 22 s.
- Lúdvík S. Georgsson og Helga Tulinius, 1983: *Viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga 1981-1982*. Orkustofnun-OS-83049/JHD-09, 70 s.
- Snorri Páll Kjaran, Jónas Elíasson, Gísli Karel Halldórsson, 1980: *SVARTSENGI. Athugun á vinnslu jarðhita*. Orkustofnun, OS80021/ROD10-JHD17, 98 s.
- Trausti Hauksson, 1985: *Niðurdælingartilraun í Svartsengi 1984*. Orkustofnun, OS-85107/JHD-13, 109 s.
- Verkfræðistofan Vatnaskil hf. 1985: *SVARTSENGI. Vinnsluefirlit 1976-1985*. Unnið fyrir Hítaveitu Suðurnesja. Orkustofnun, OS-85097/JHD-12, 99 s.
- Verkfræðistofan Vatnaskil hf, 1988: *SVARTSENGI. Vinnsluefirlit júlí 1985-júlí 1988. Unnið fyrir Hítaveitu Suðurnesja*. Orkustofnun-OSD-88056/JHD-12, 41 s.



SVARTSENGI  
Staðsetning hola

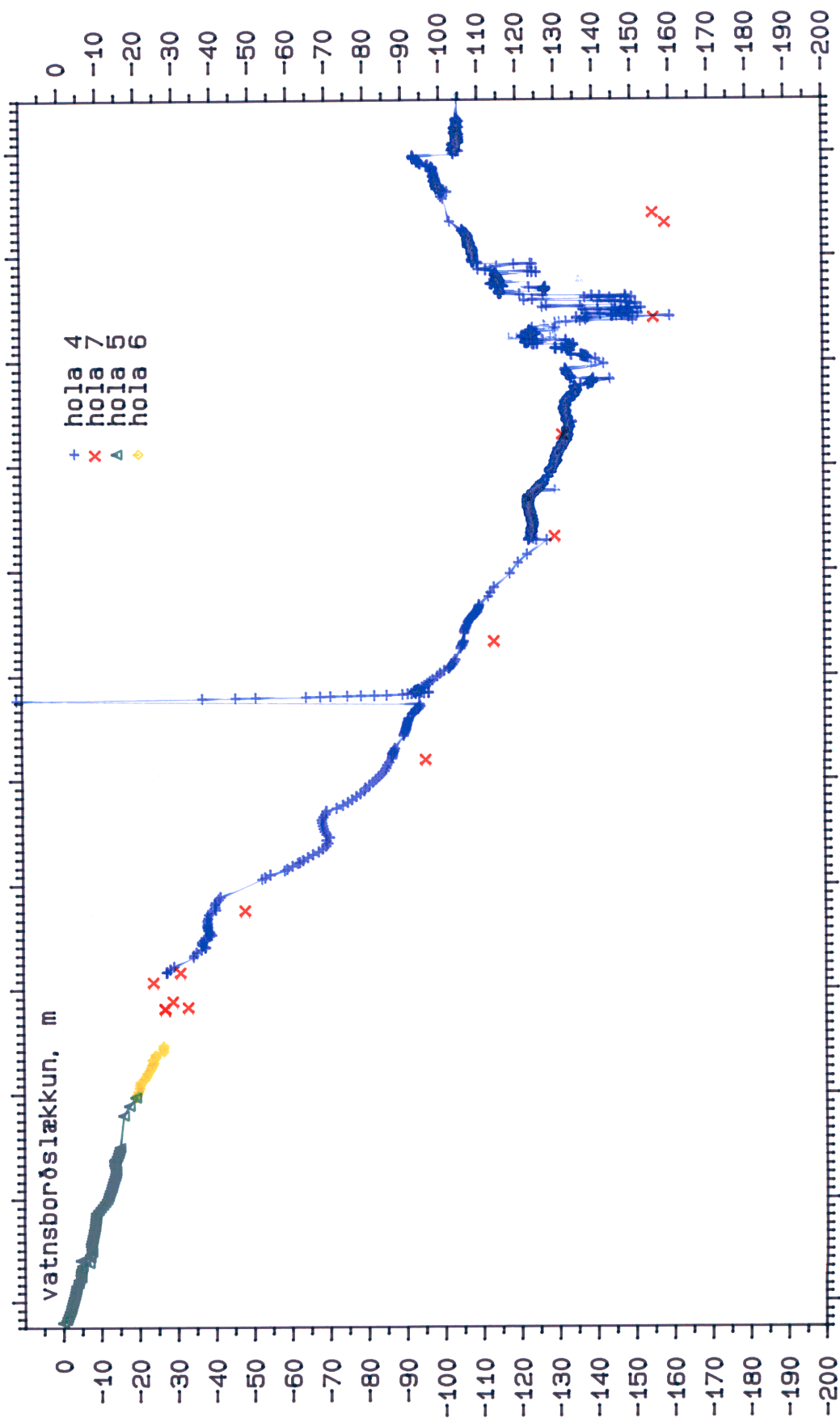


VERKFRÆÐISTOFAN 8702  
VATNASKIL 89-05-03 s1h

# ORKUSTOFNUN

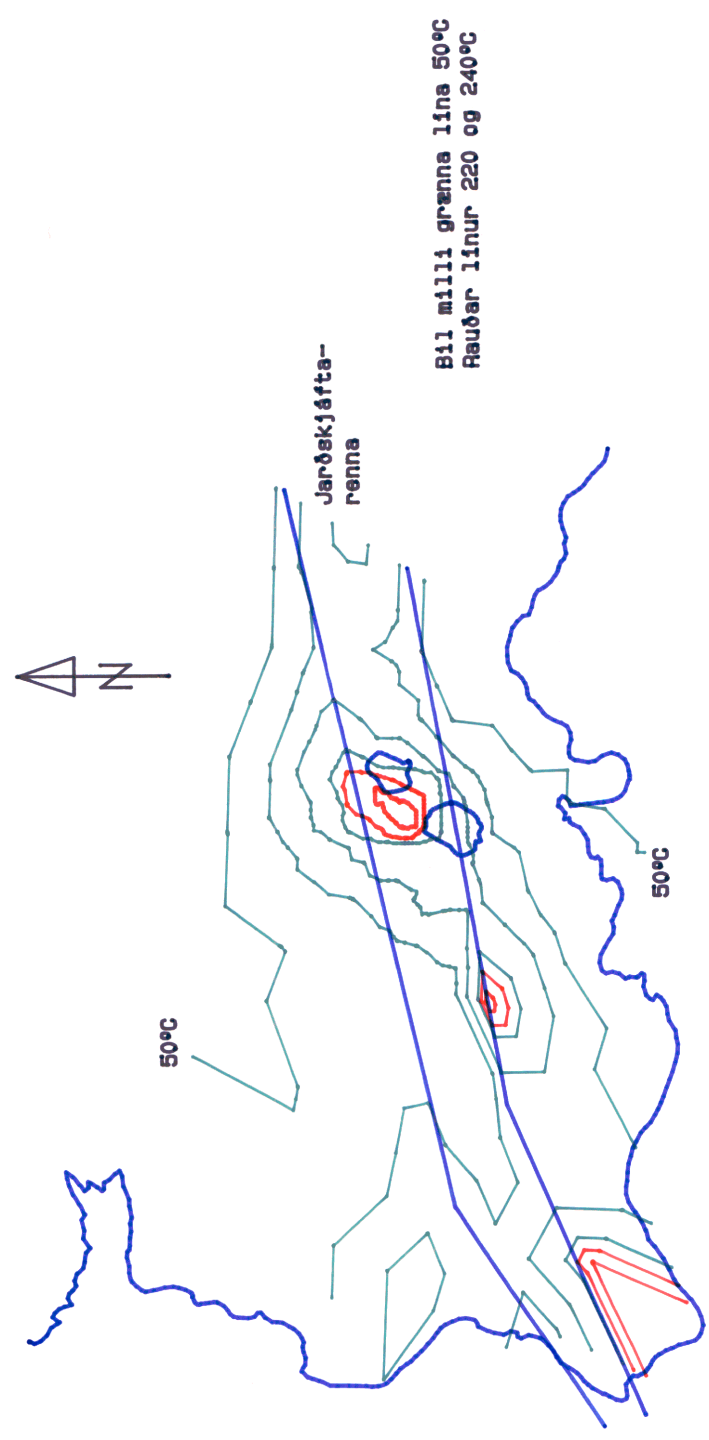
## SVARTSENGI

Vatnsborðsmælingar



SVARTSENGI

Áætlun hitadreifing á 600 m dýpi

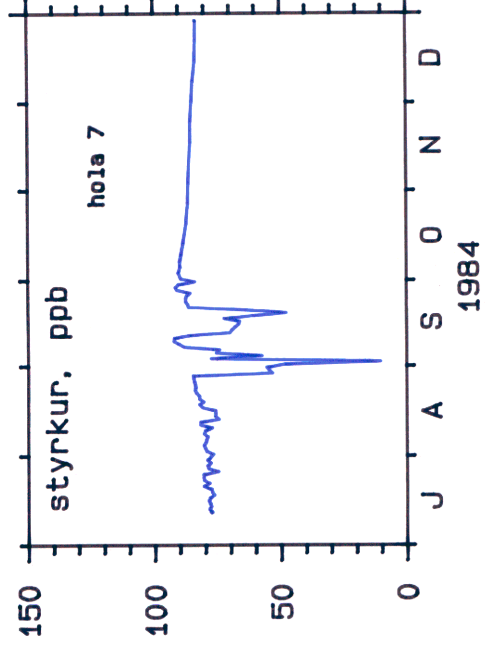
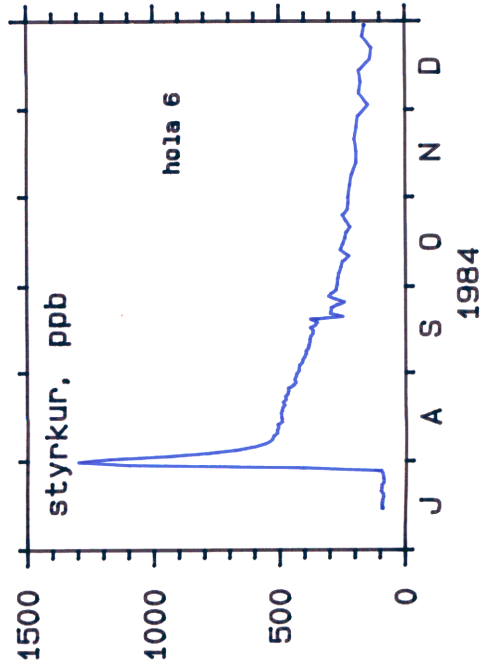
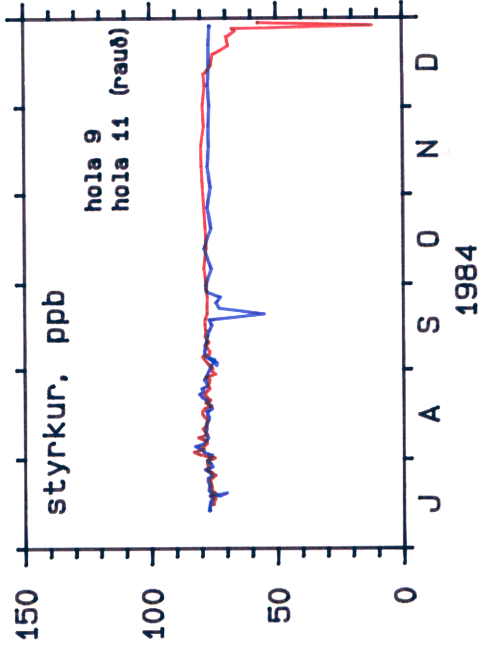
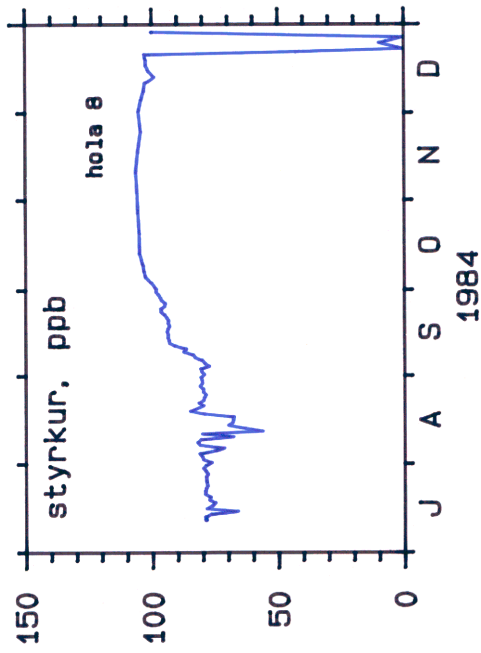


Mkv : 1: 200000



SVARTSENGI

Styrkur jódíó í niður-  
dælingartíðraun 1984.

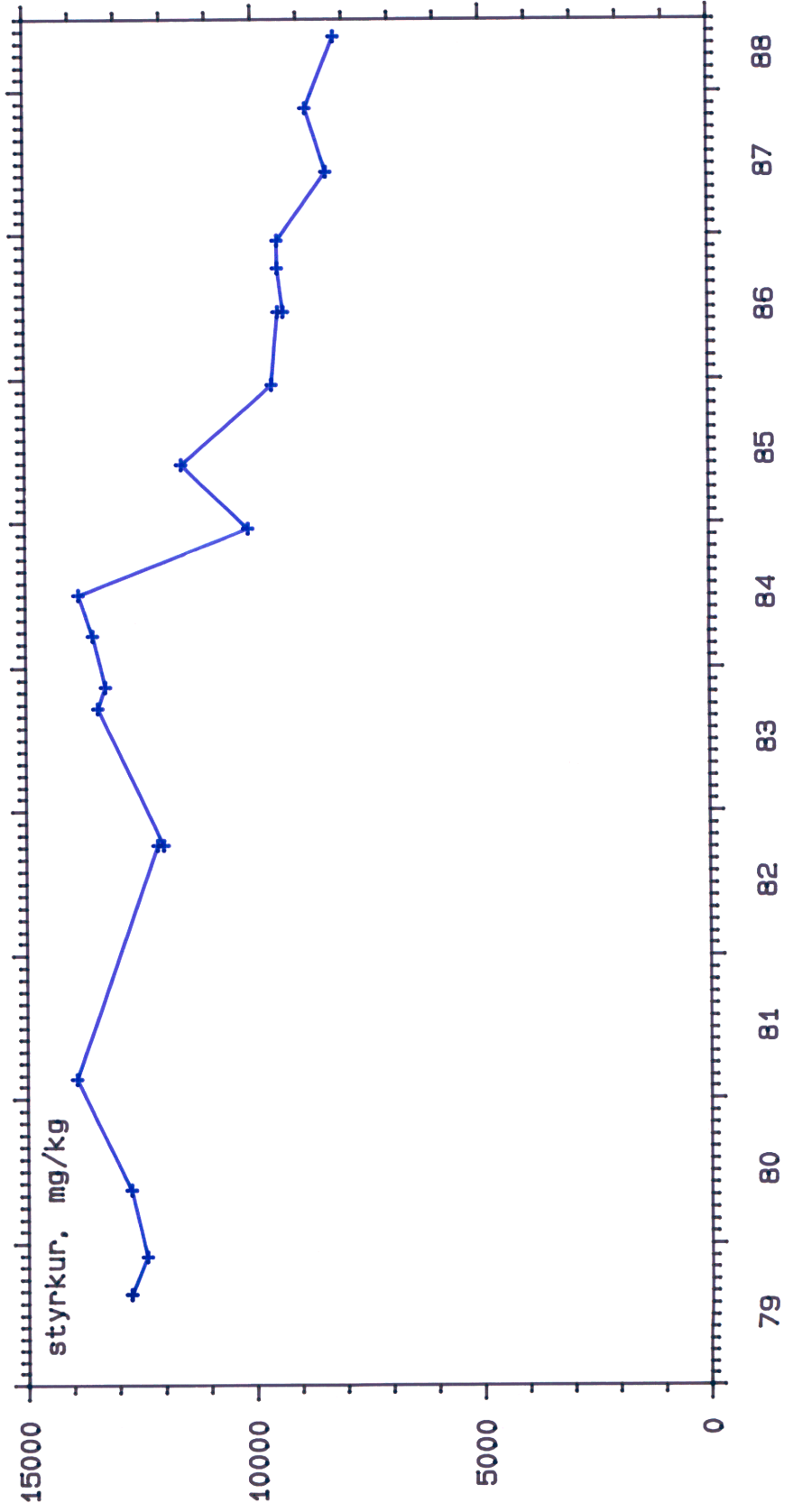


VERKFRÆÐISTOFAN 8702  
VATNASKIL 89-06-21 s1h

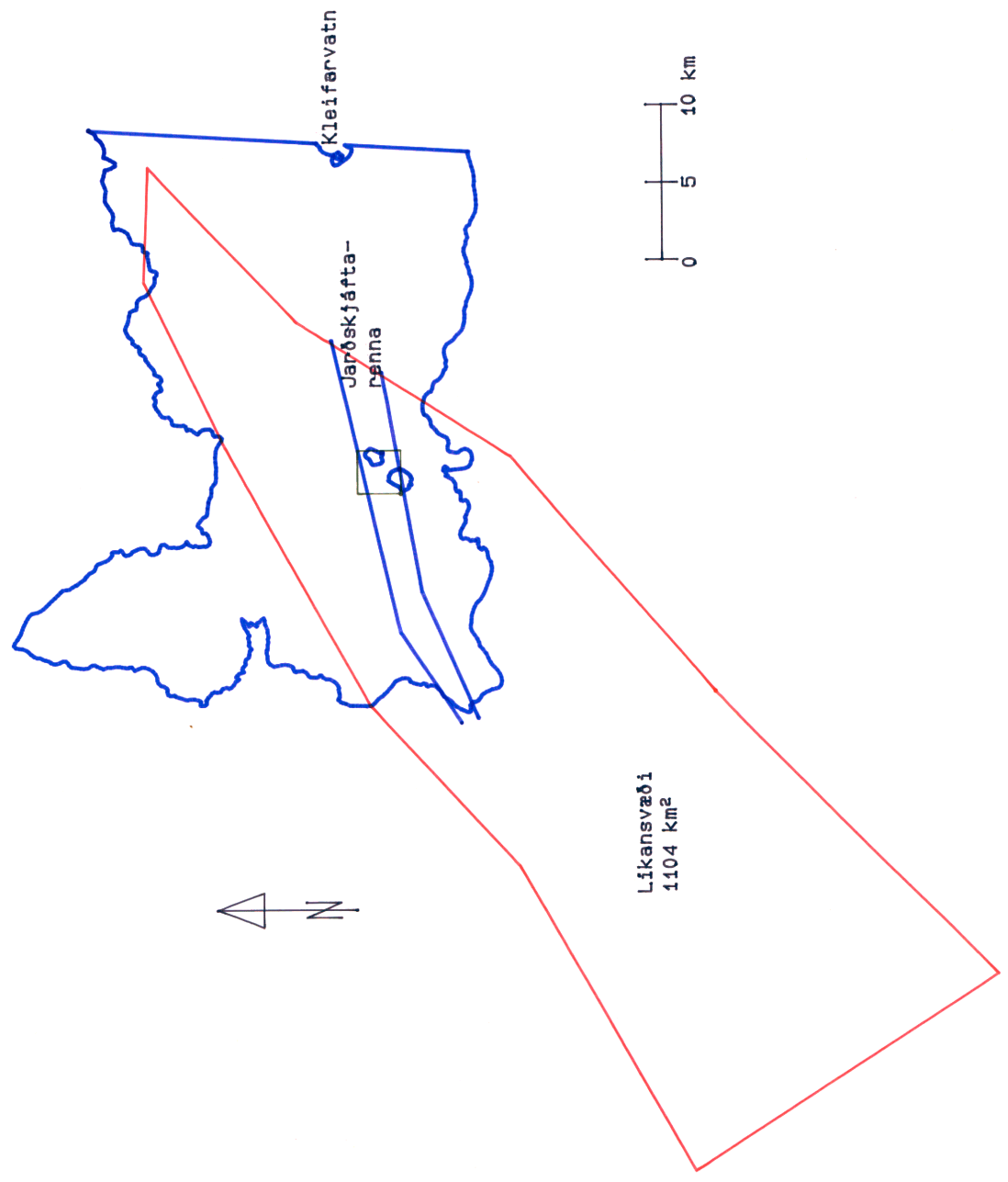
# ORKUSTOFNUN

## SVARTSENGI

Styrkur klóríðs í holu 6.

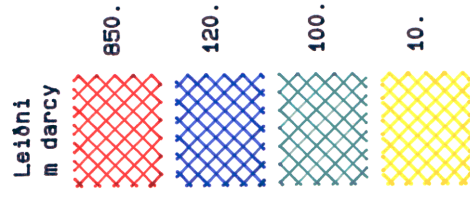


SVARTSENGI  
Likansvæði

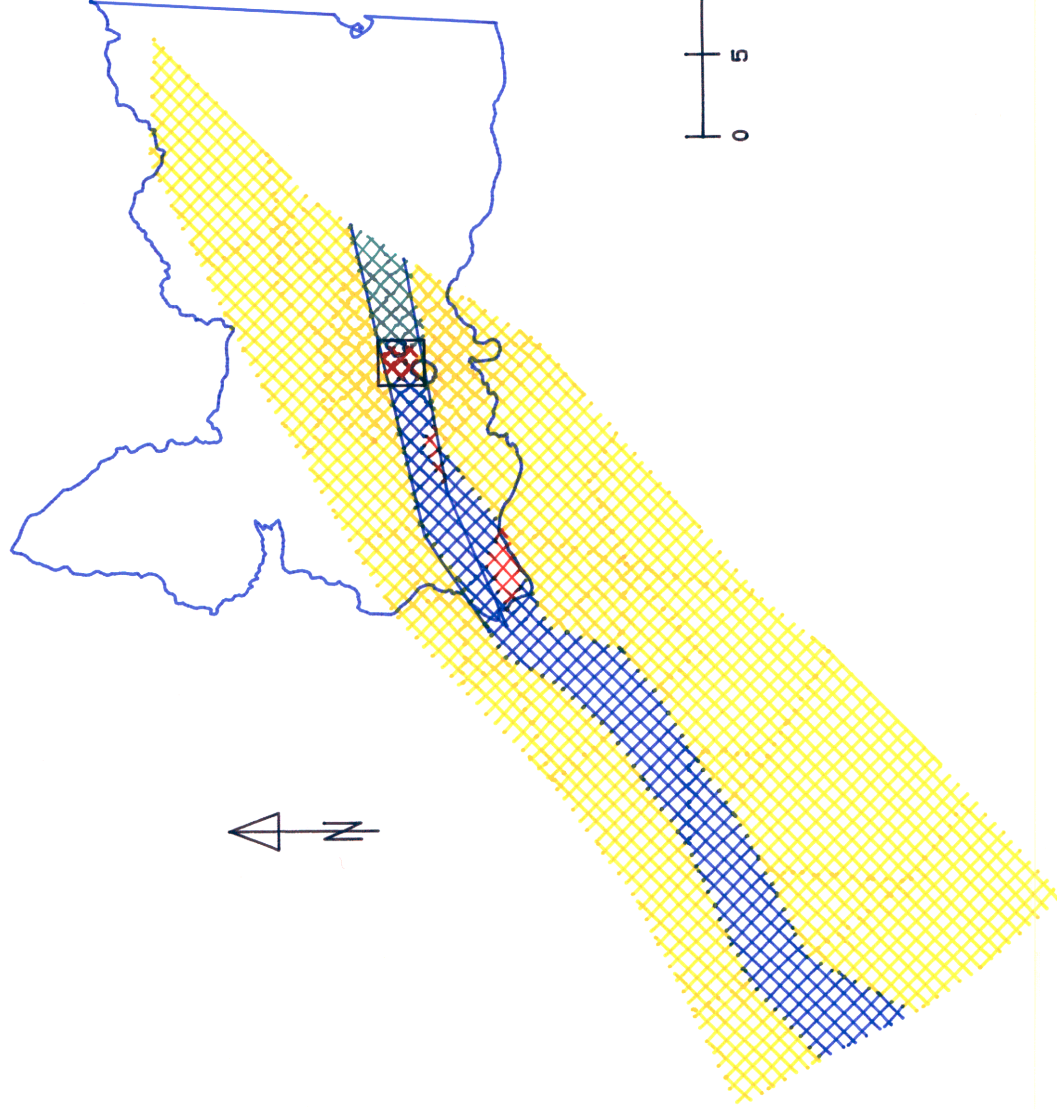


Jarðhitasvæðið í  
Svartseugi er innan  
brúna ferningsins

SVARTSENGI  
Leiðnigildi

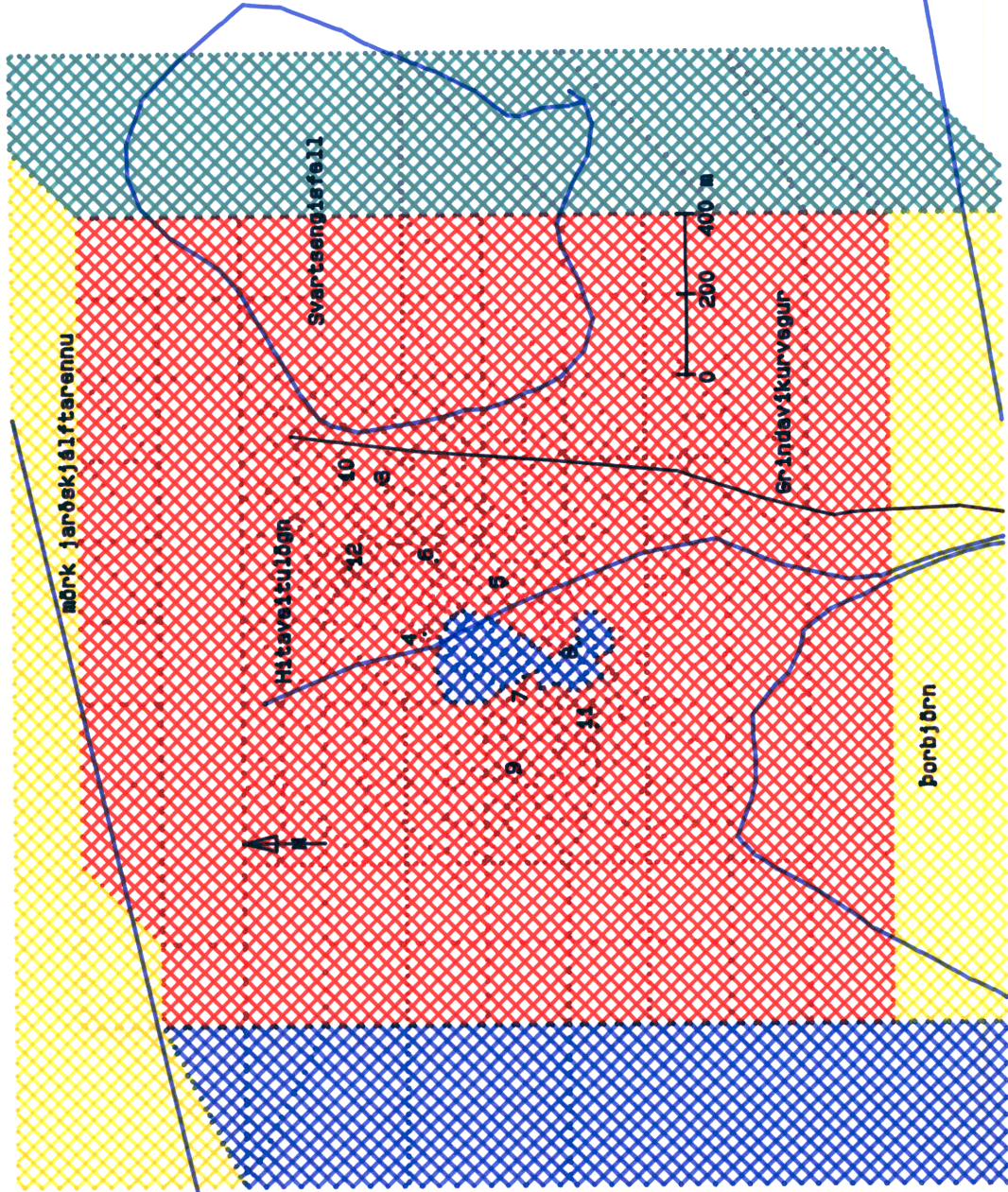
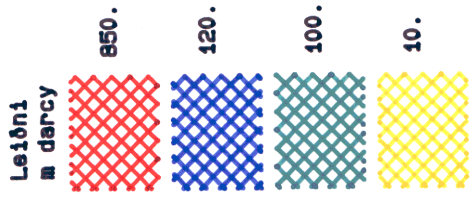


Jarðhitasvæðið í  
Svartsengi er innan  
svarta ferningsins.



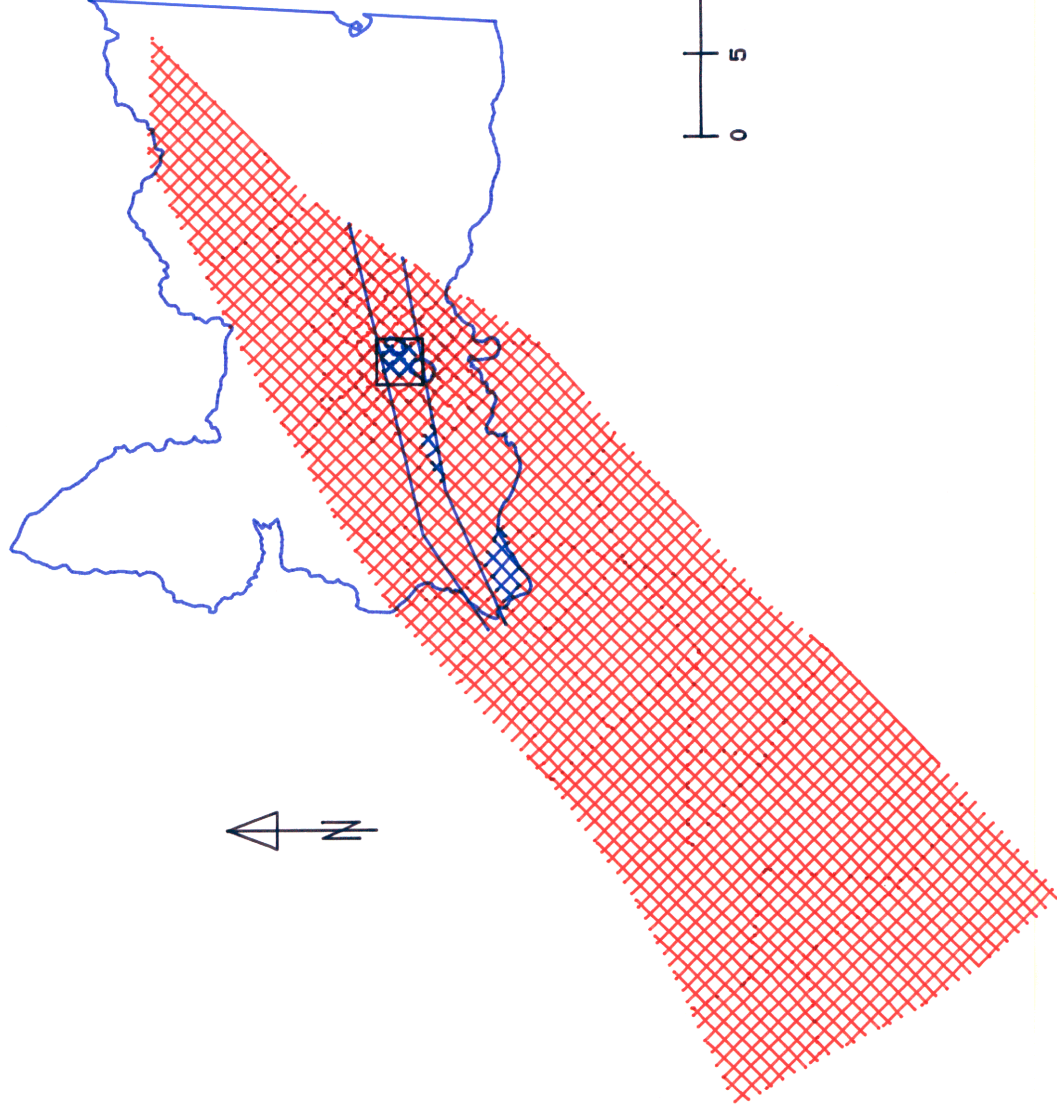
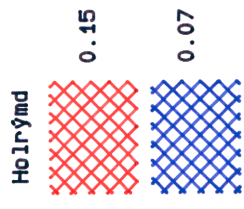
SVARTSENGI

Leiðni í jarðhitasvæði



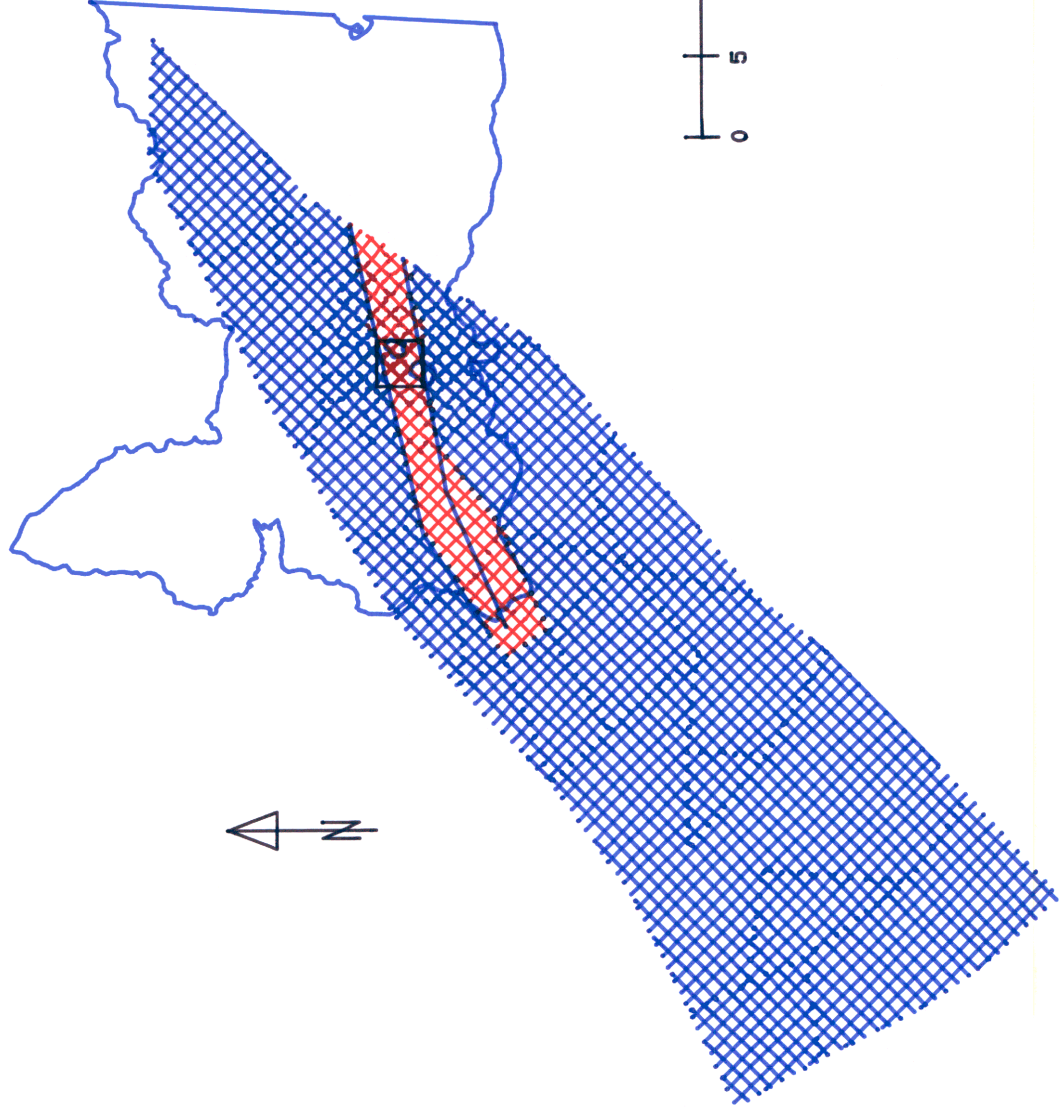
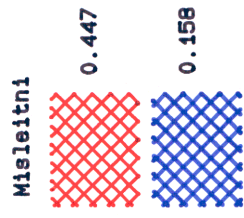
Mynd 9

SVARTSENGI  
Hoírýmd



Jarðhitasvæðið í  
Svartsengi er innan  
svarta ferringsins.

SVARTSENGI  
Misleitni

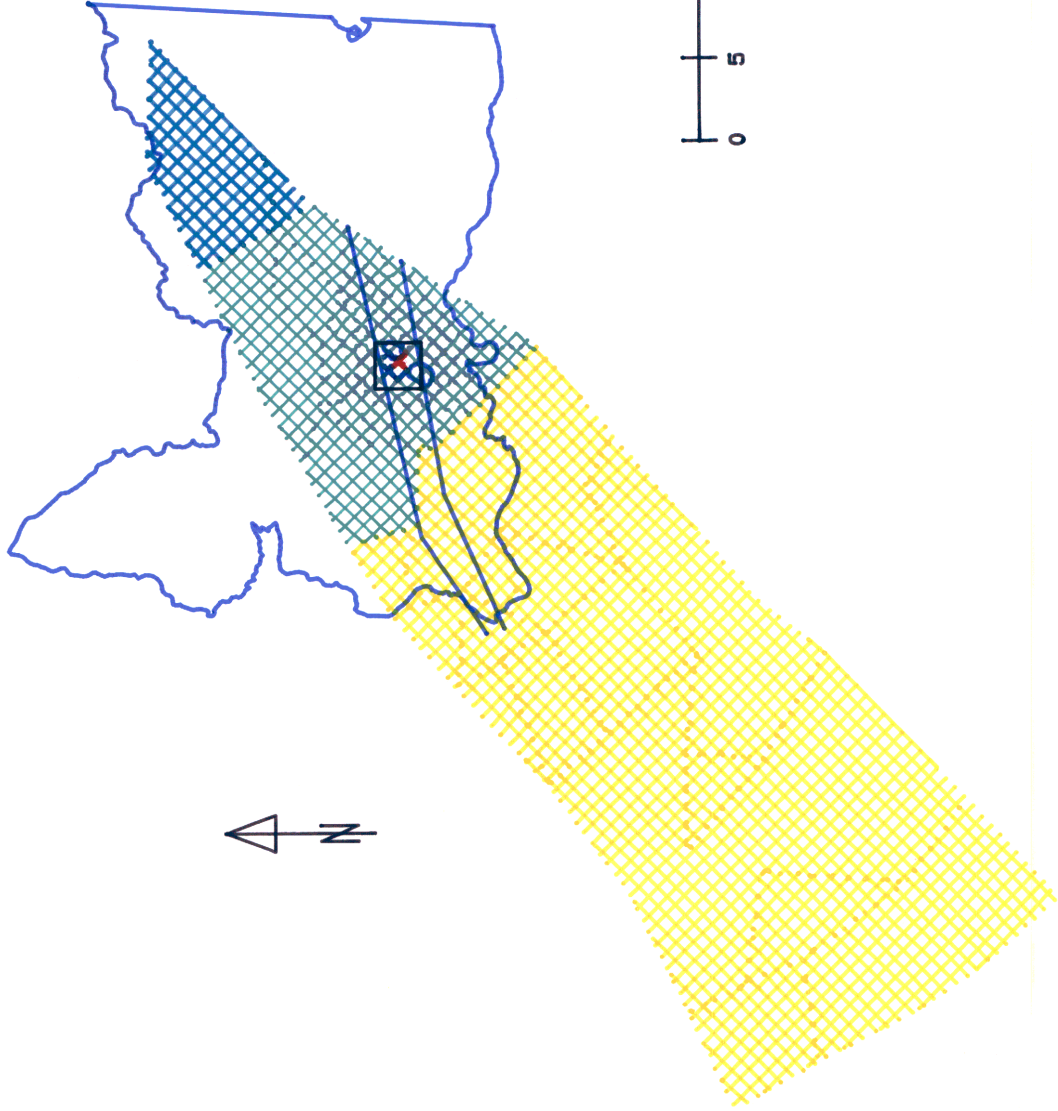
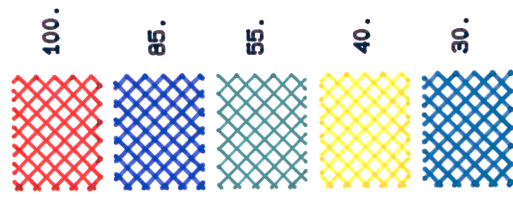


Jarðhitaævaðið í  
Svartseugi er innan  
svarta ferningsins.

# ORKUSTOFNUN

## SVARTSENGI Misleitnihorn (sprungustefna)

Misleitnihorn  
gráður mældar  
rangælis frá  
austri



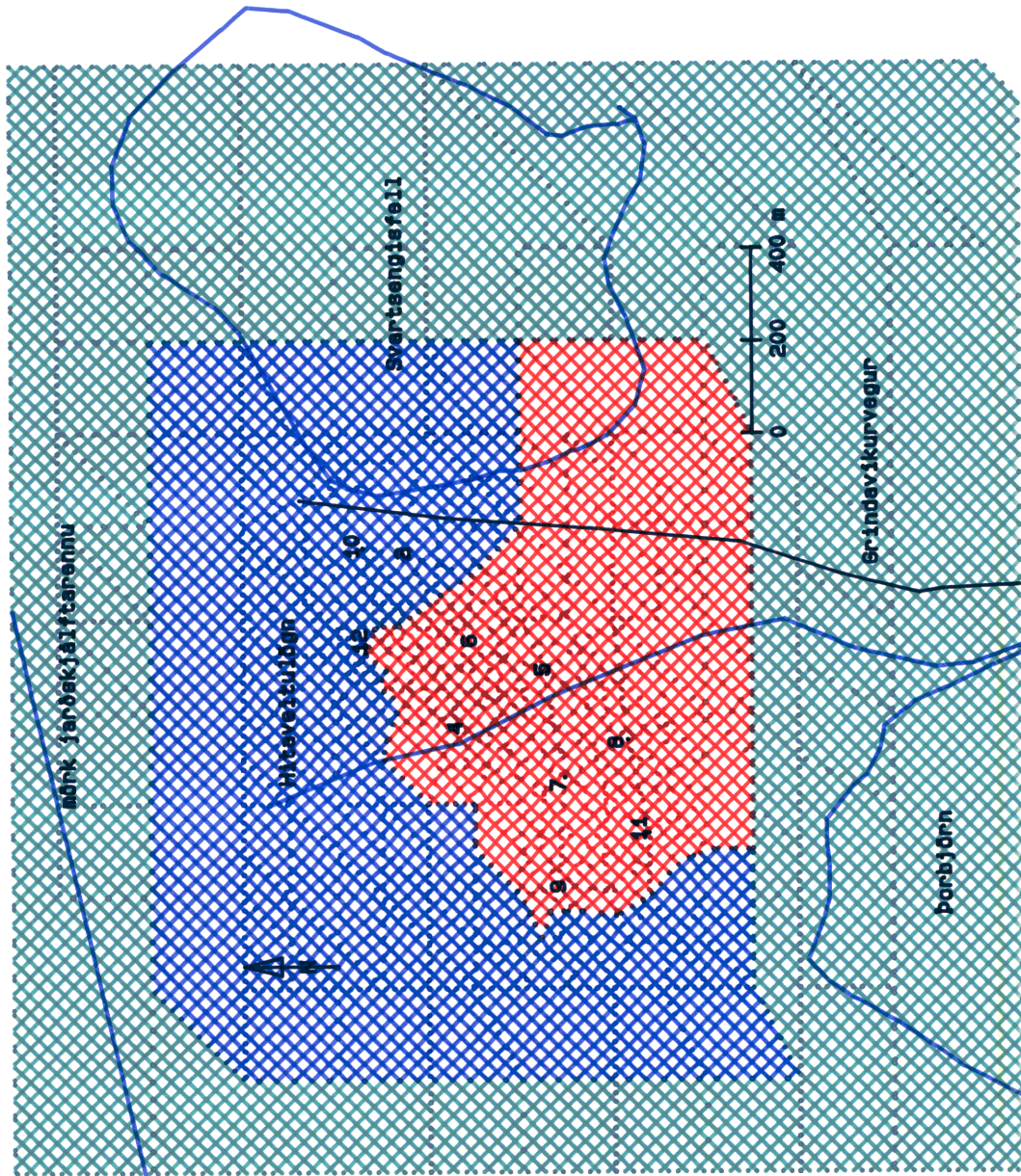
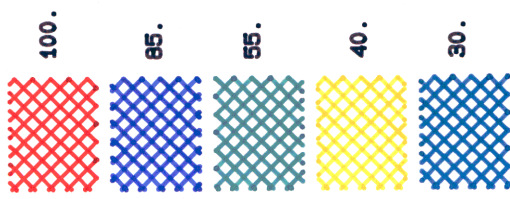
Jarðhitasvæðið í  
Svartsengi er innan  
svarta ferningsins.



SVARTSENGI

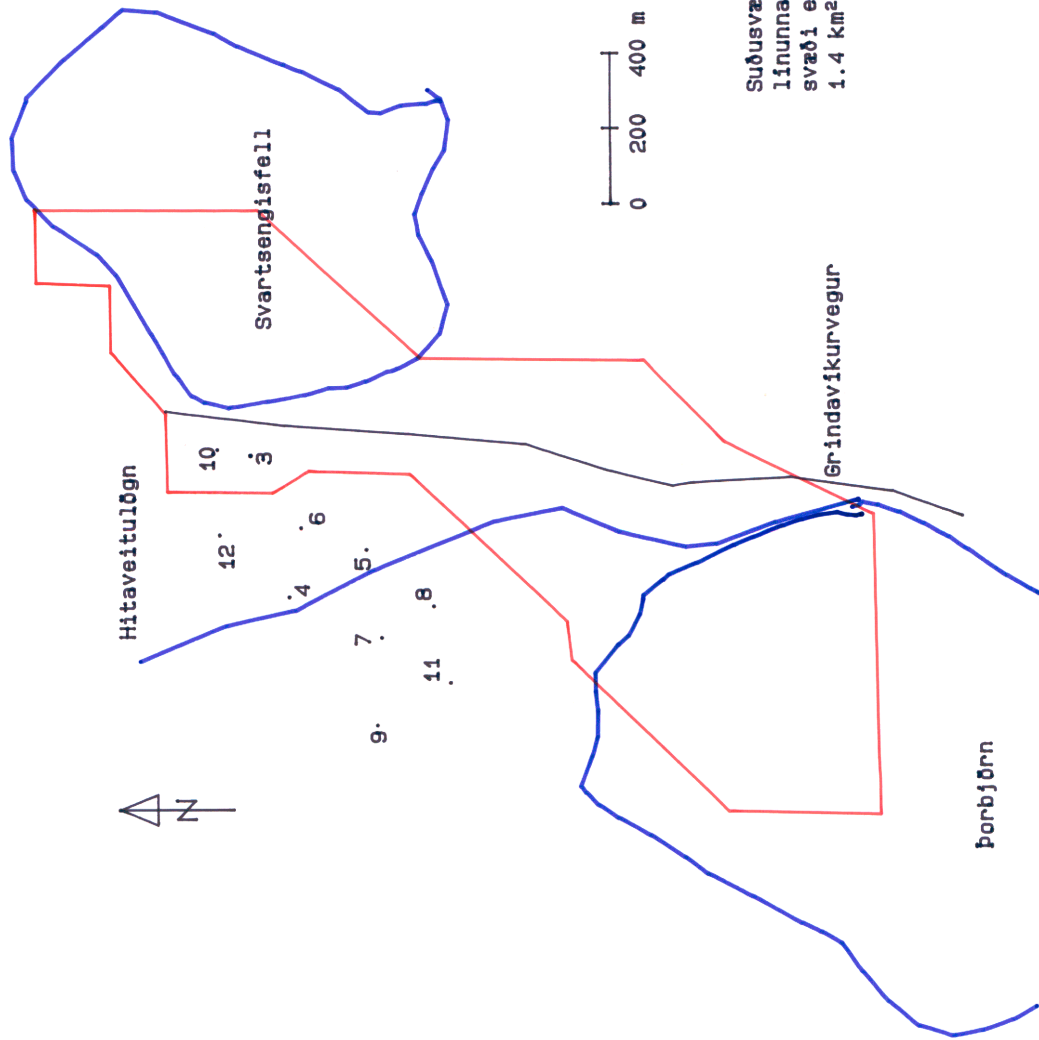
Misleitnihorn á  
jarðhitasvæði

Misleitnihorn  
gráður mældar  
rangællis frá  
austri



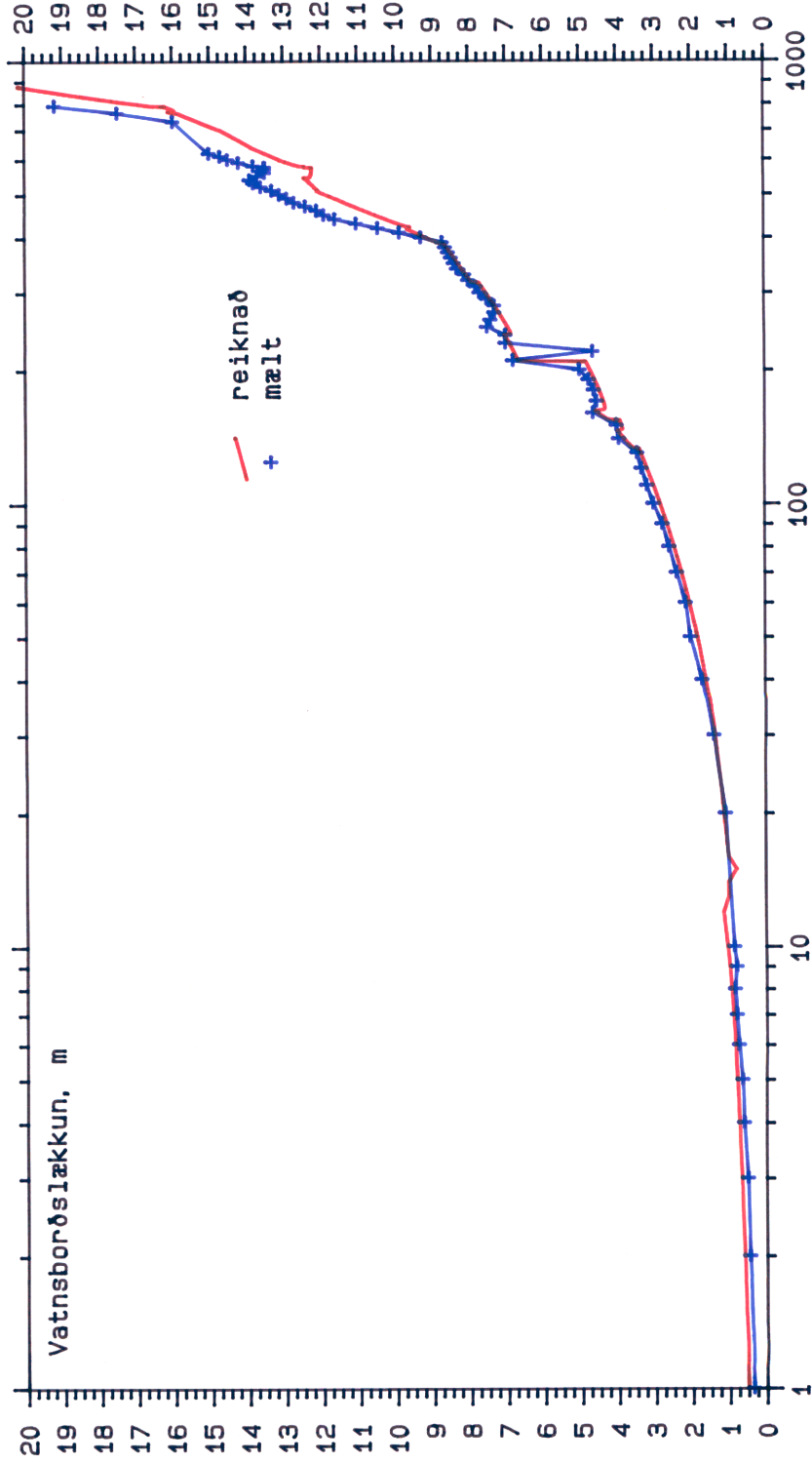
SVARTSENGI

Lega suðusvæðis



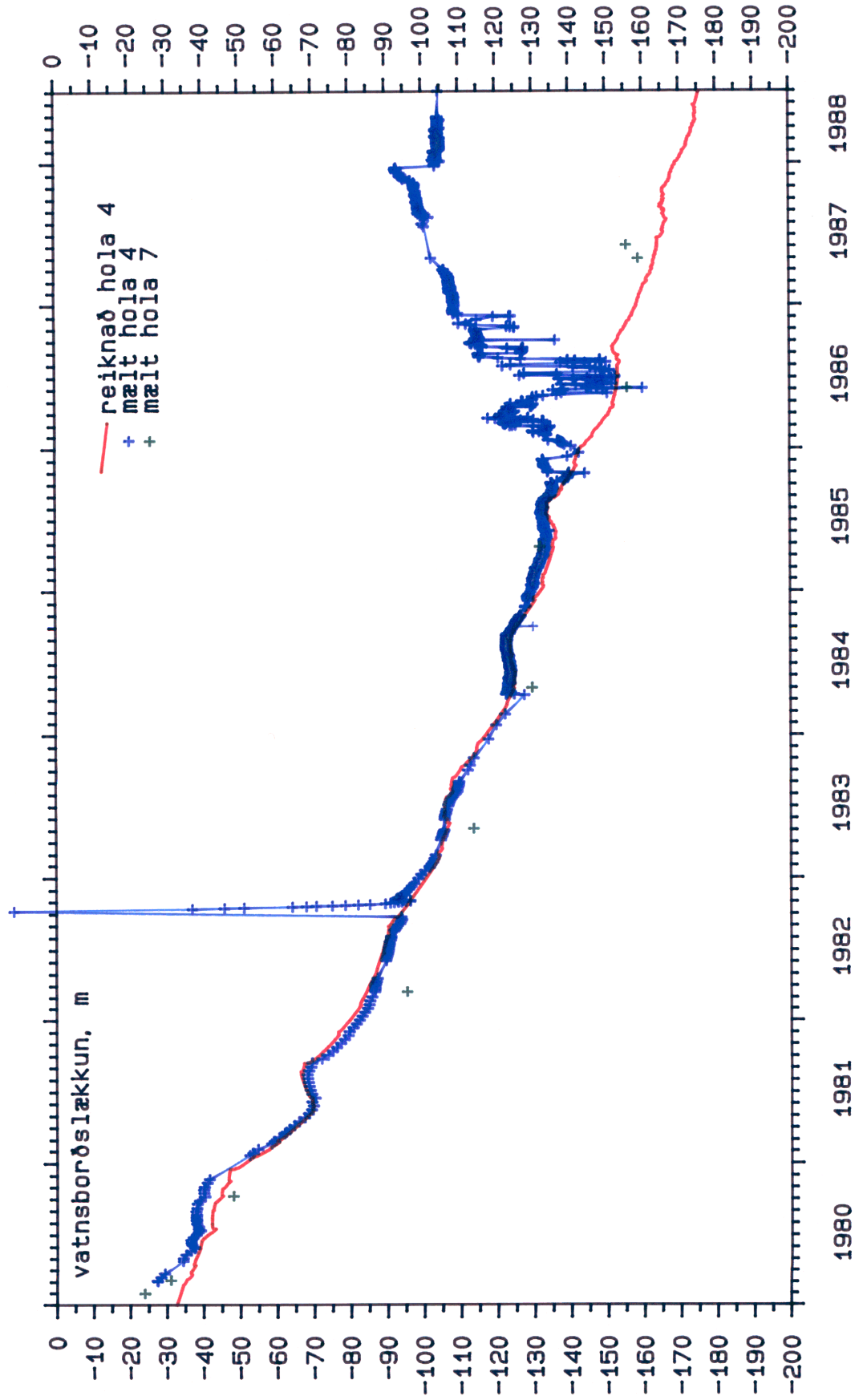
Suðusvæðið er innan rauðu  
líunnar. Heirýmd á suðu-  
svæði er 0.05 og stærð  
1.4 km<sup>2</sup>

SVARTSENGI  
Vatnsborð í hól 5  
1976 - 1978



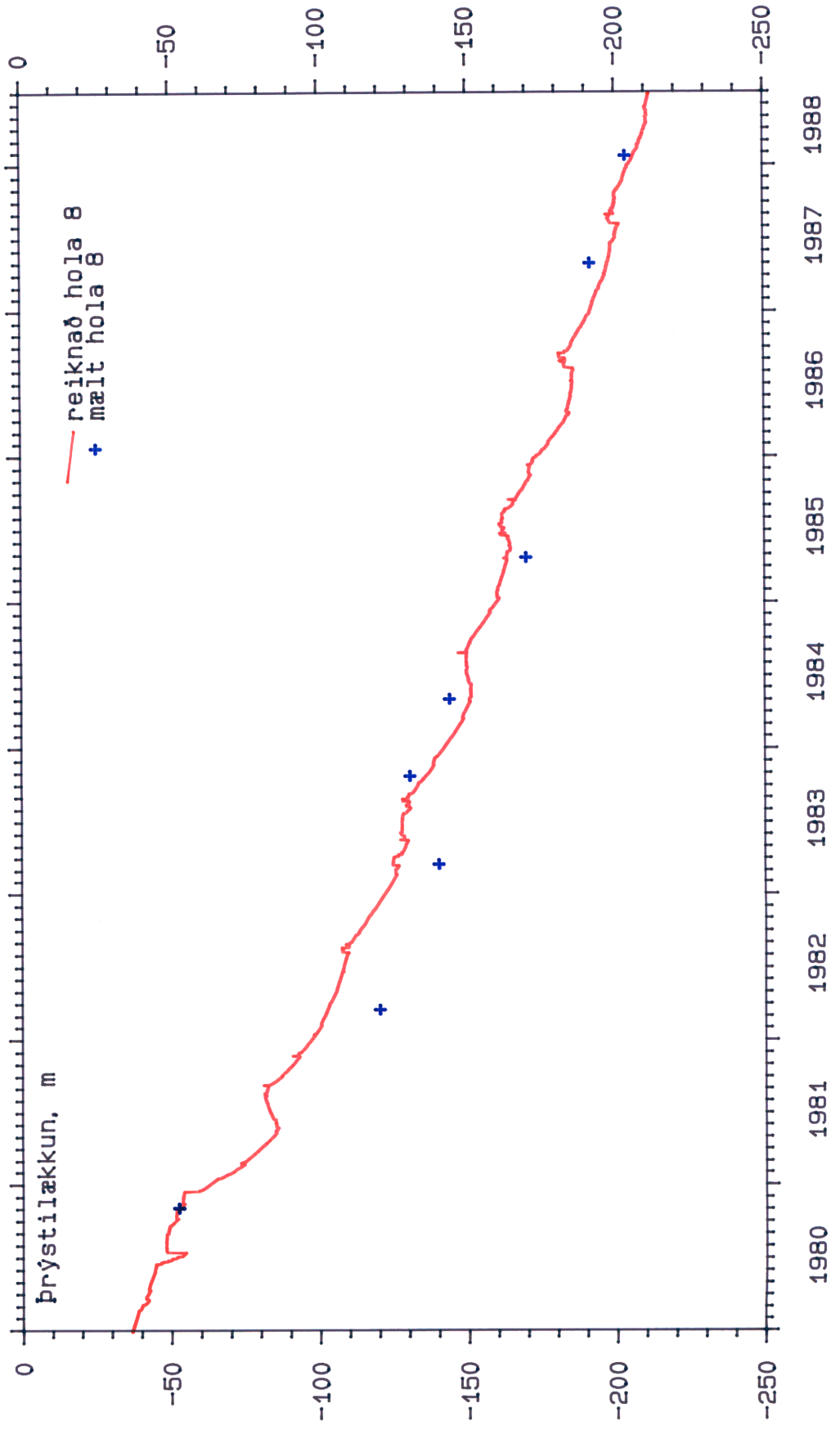
SVARTSENGI

Vatnsborð í holu 4  
1980 - 1988



SVARTSENGI

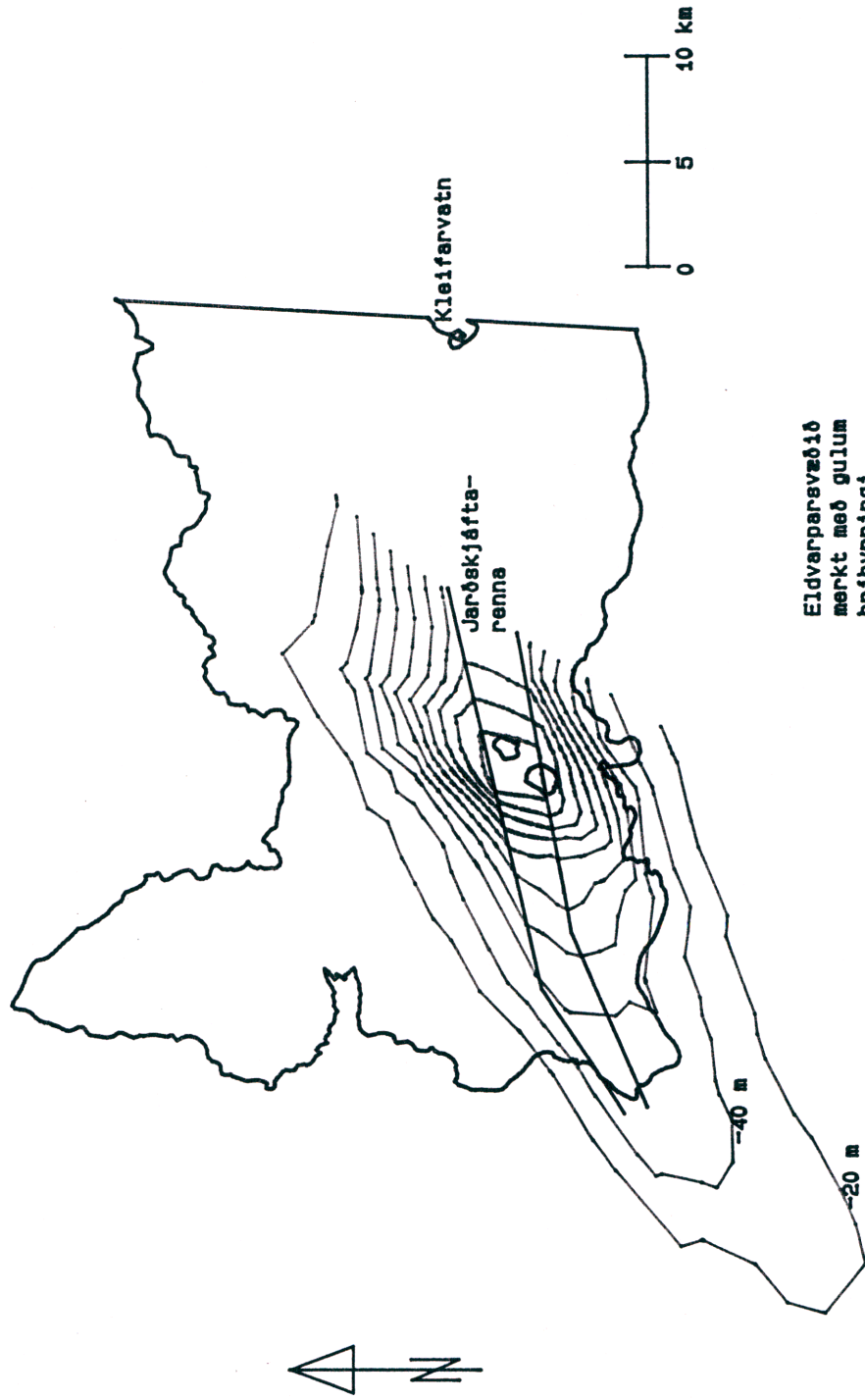
Þrýstílækkun í hola 8  
1980 - 1988





SVARTSENGI

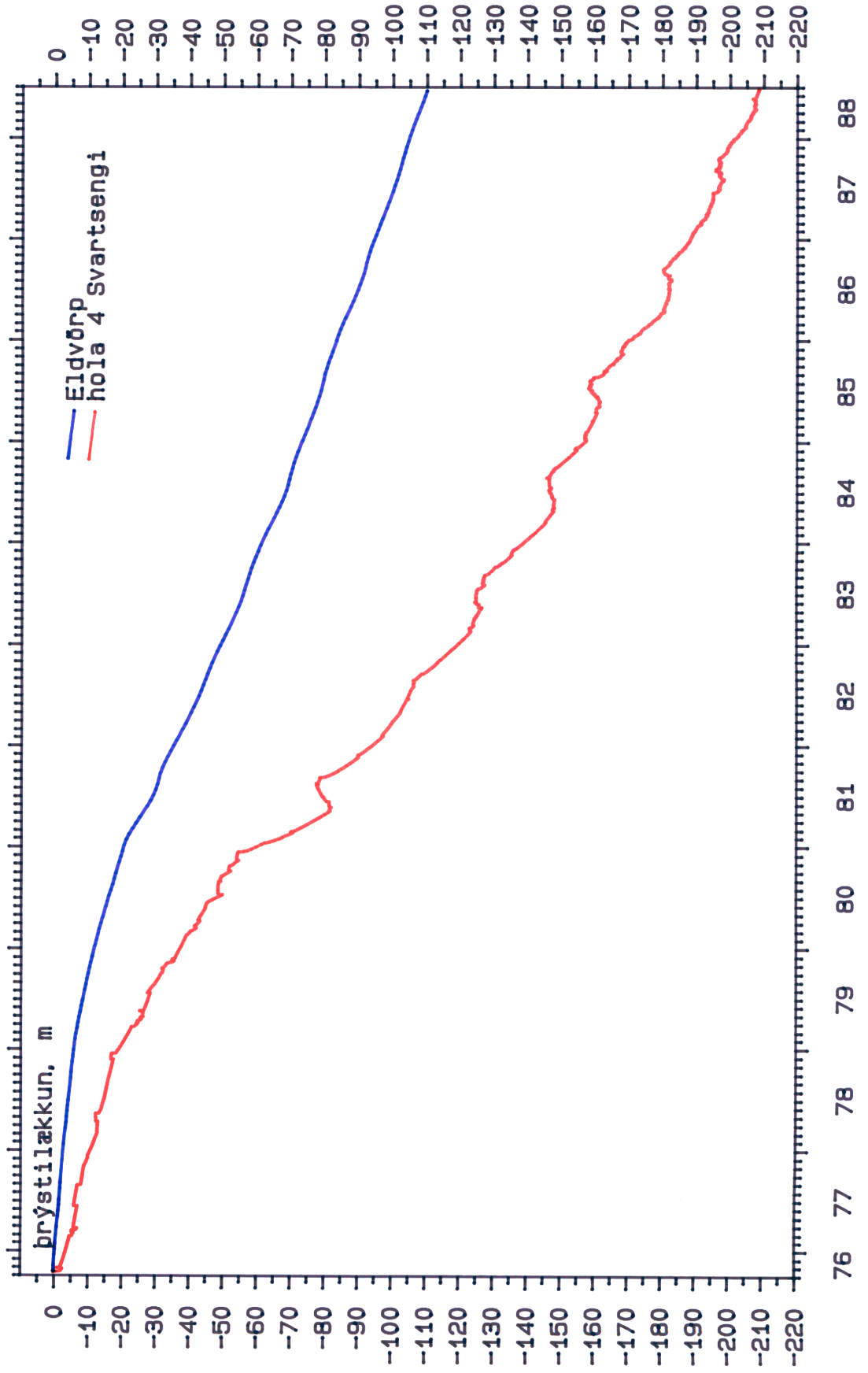
Reiknuð útbreiðsla þrýsti-  
lækkunar vorið 1988



Eldvarparavæðing  
merkt með gulum  
þríhyrningi

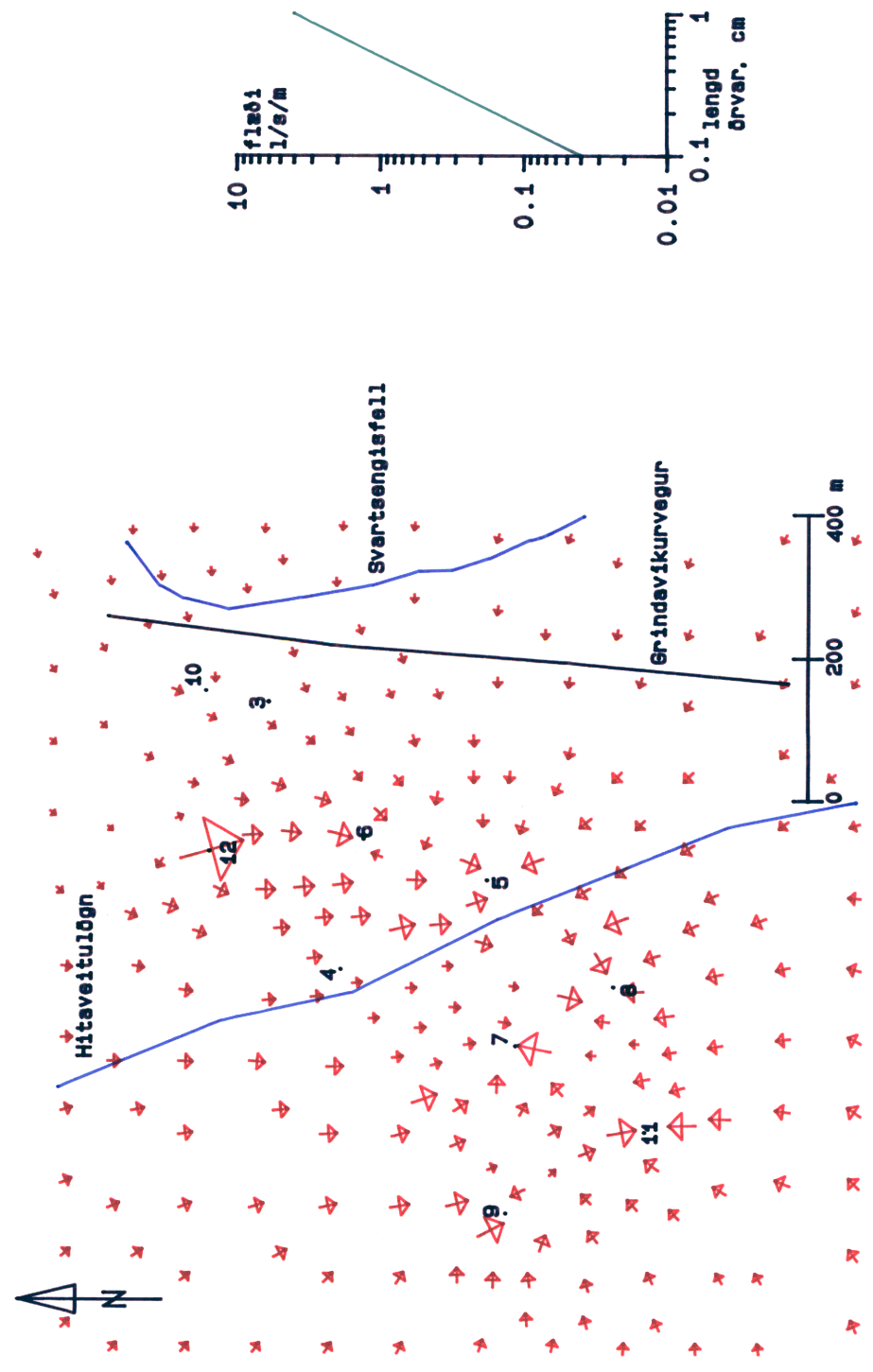
SVARTSENGI

Reiknuð þrýstilákkun í  
Svartsengi og Eldvörpum



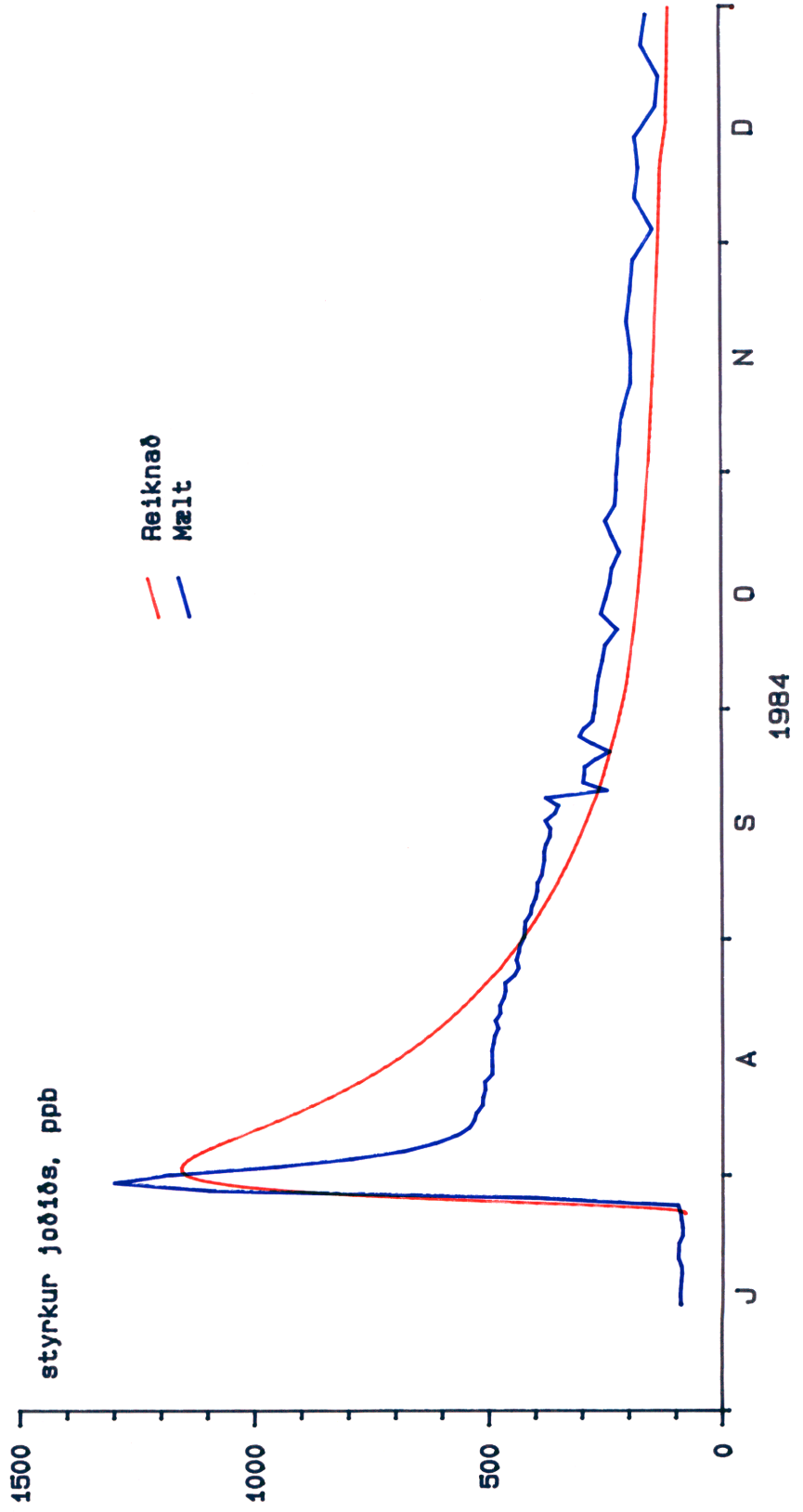


SVARTSENGI  
Reiknað streymi vorid 1988



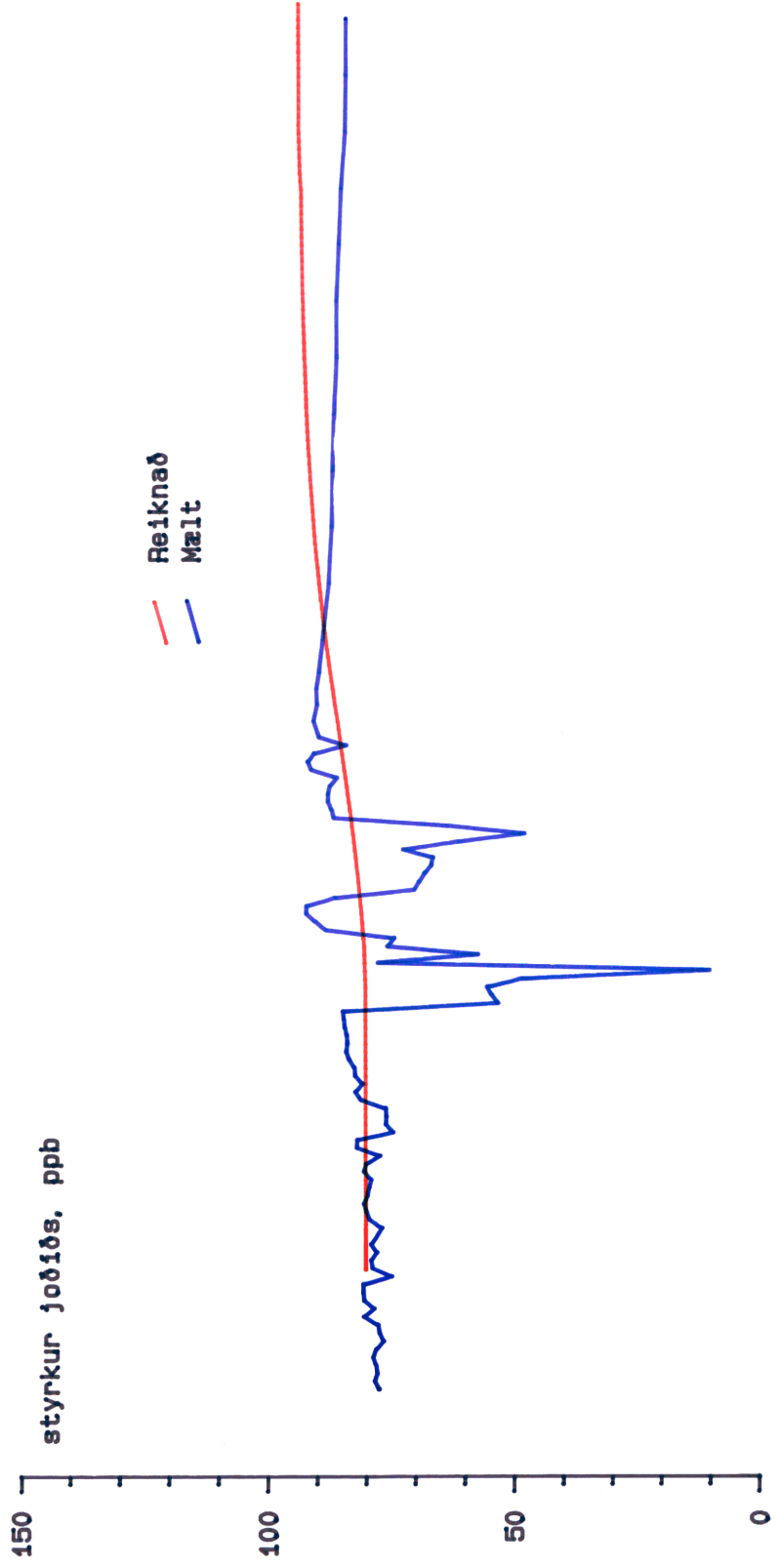
SVARTSENGI

Styrkur jódíðs í holiu 6  
júlí - des 1984



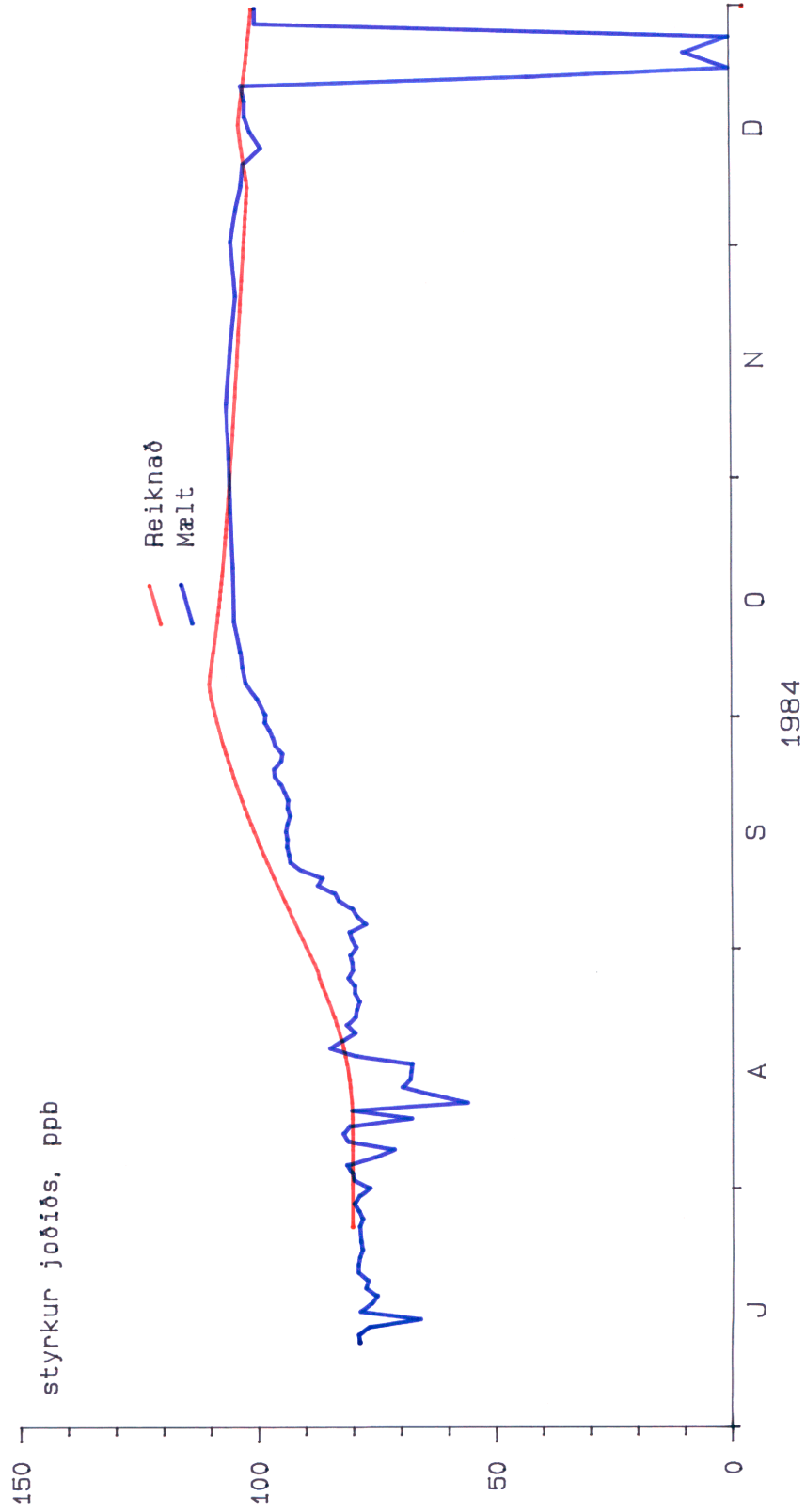
SVARTSENGI

Styrkur jódíðs í holi 7  
júlí - des 1984



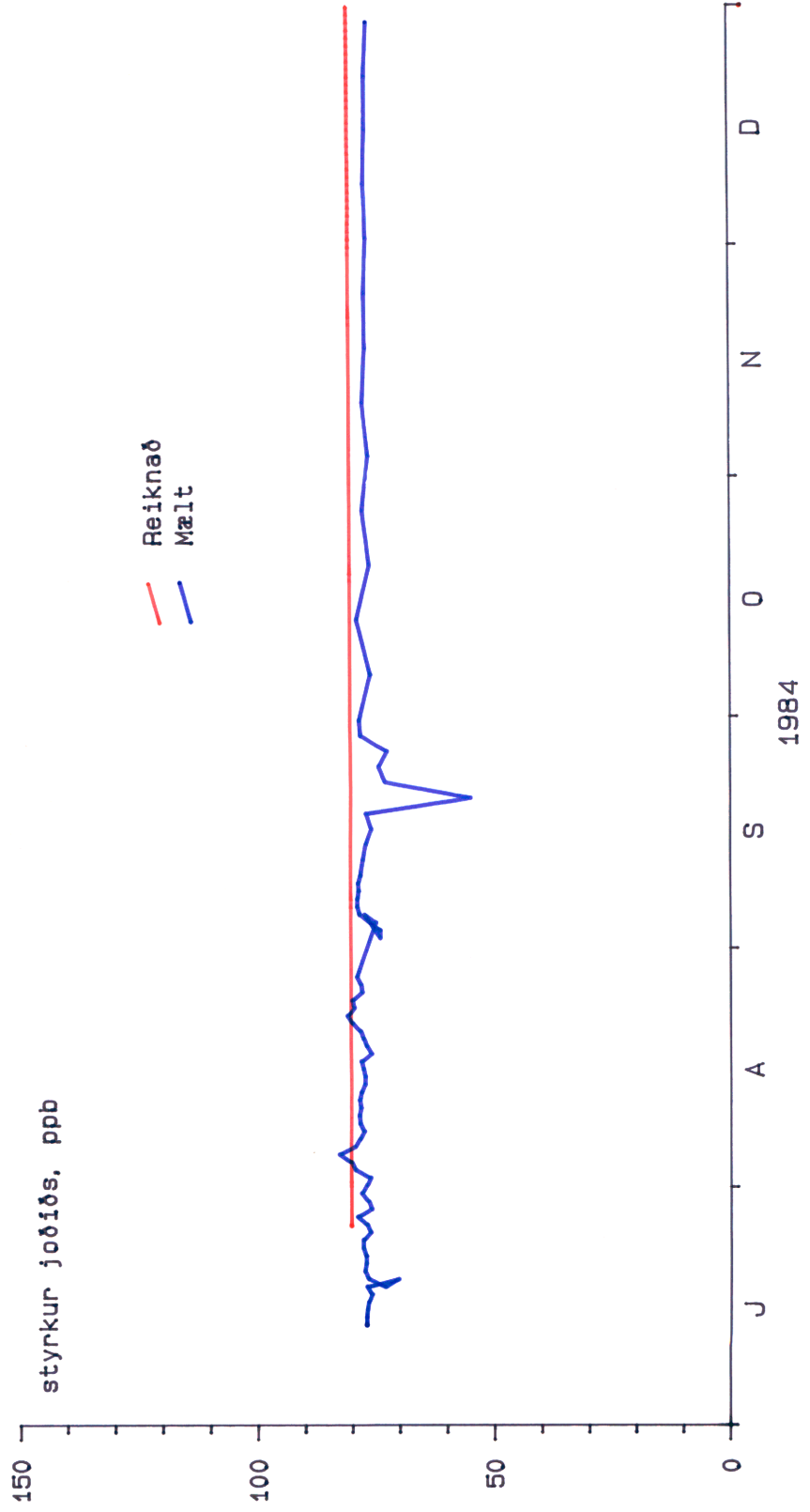
SVARTSENGI

Styrkur jódíðs í holu 8  
júli - des 1984



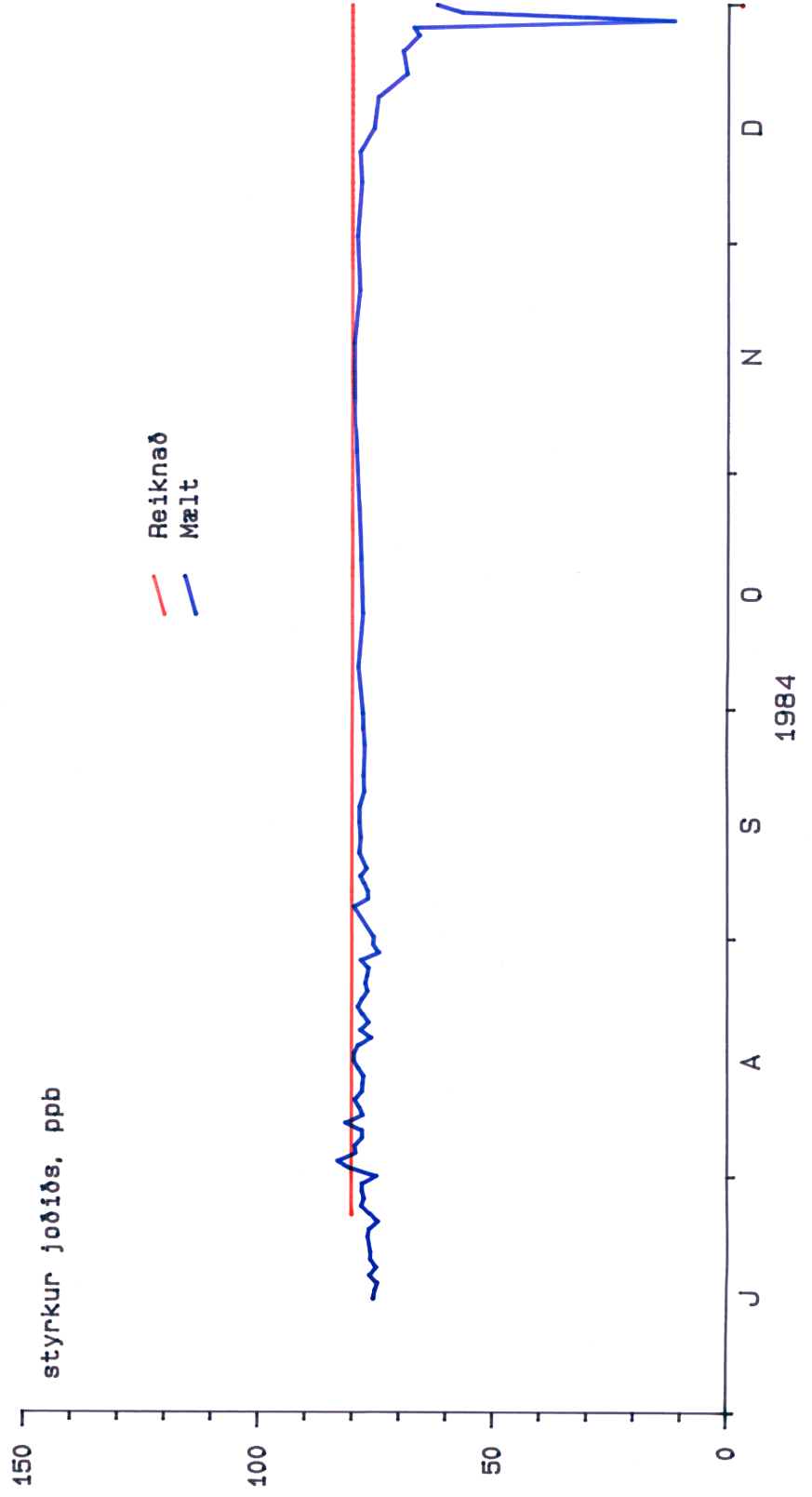
SVARTSENGI

Styrkur jódíðs í holi 9  
júli - des 1984



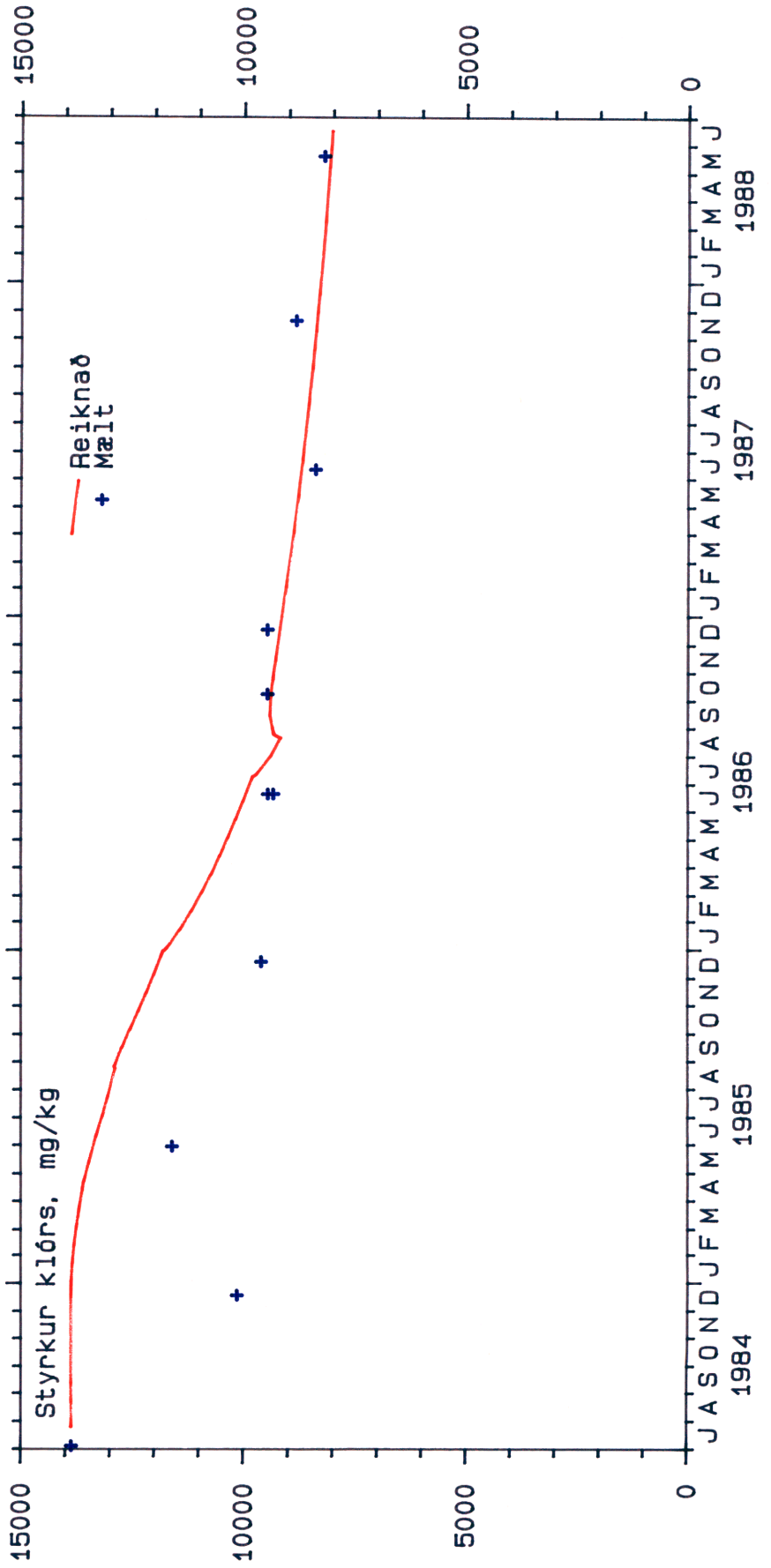
SVARTSENGI

Styrkur jódíós í hólú 11  
júli - des 1984



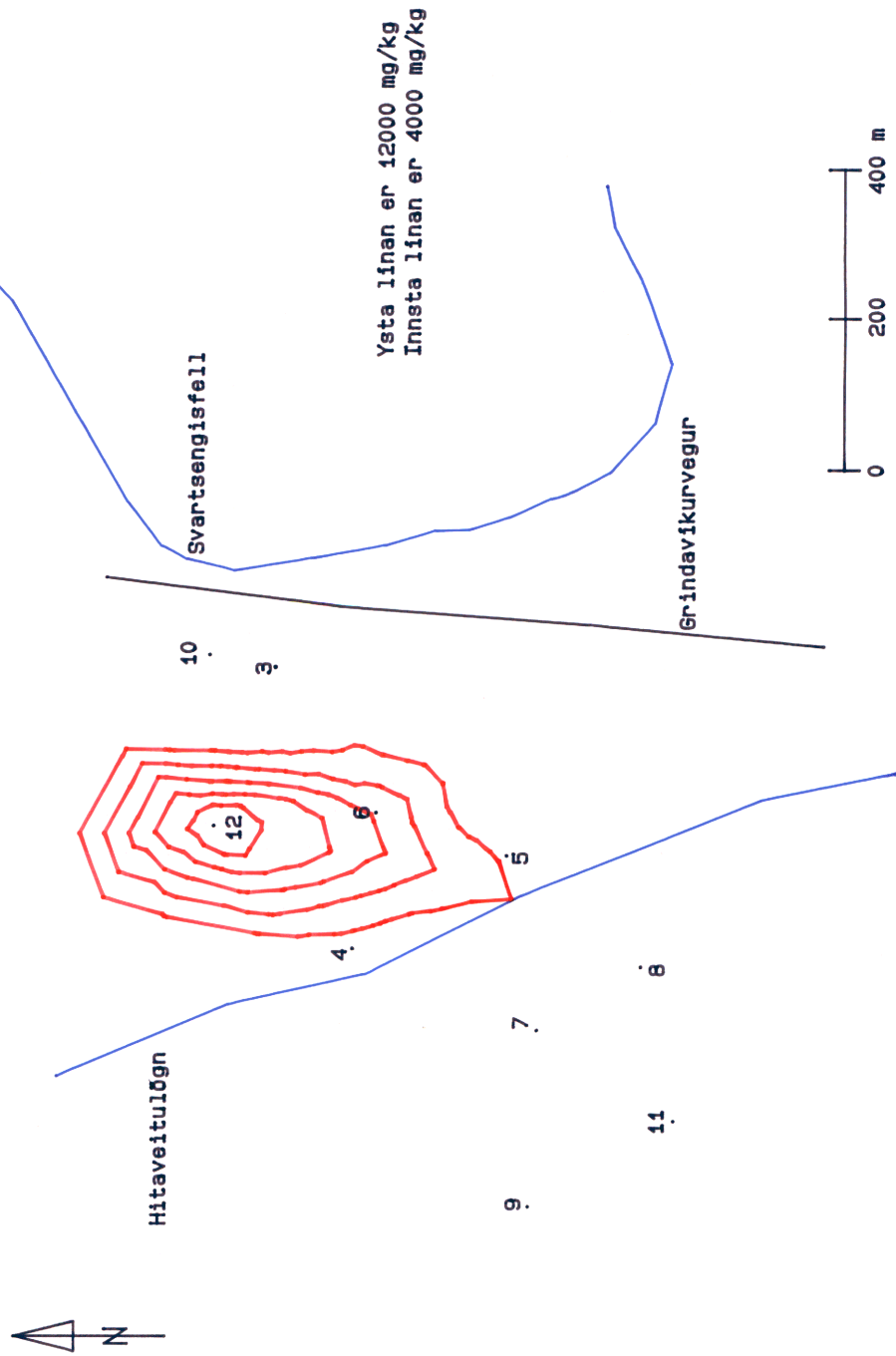
SVARTSENGI

Styrkur klóríðs í holi 6  
1984 - 1988



SVARTSENGI

Reiknuð áhrif niðurdælingar á  
dreifingu klóríðs í febrúar 1988



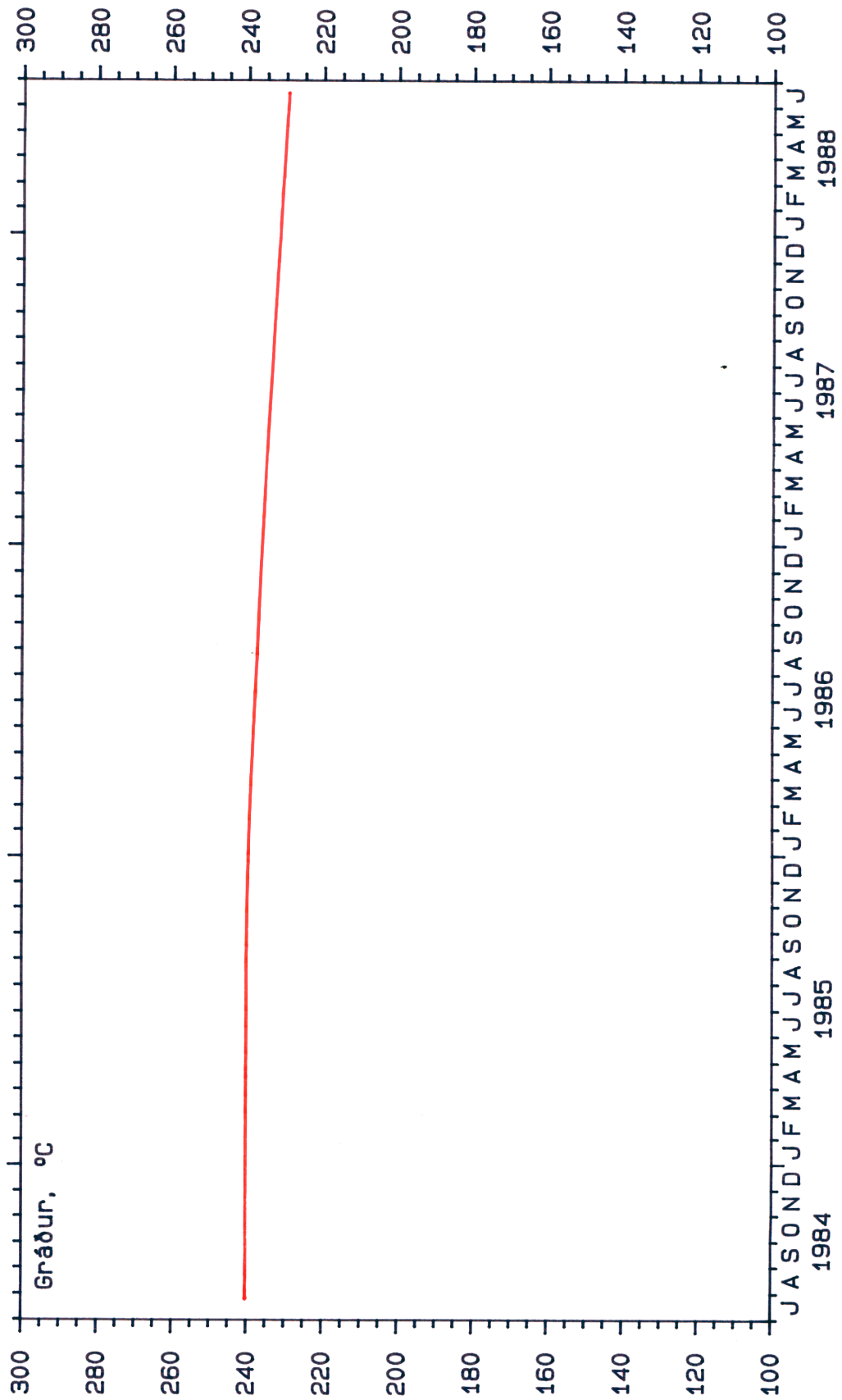


VERKFRÆÐISTOFAN 8702  
VATNASKIL 89-05-03 slh

# ORKUSTOFNUN

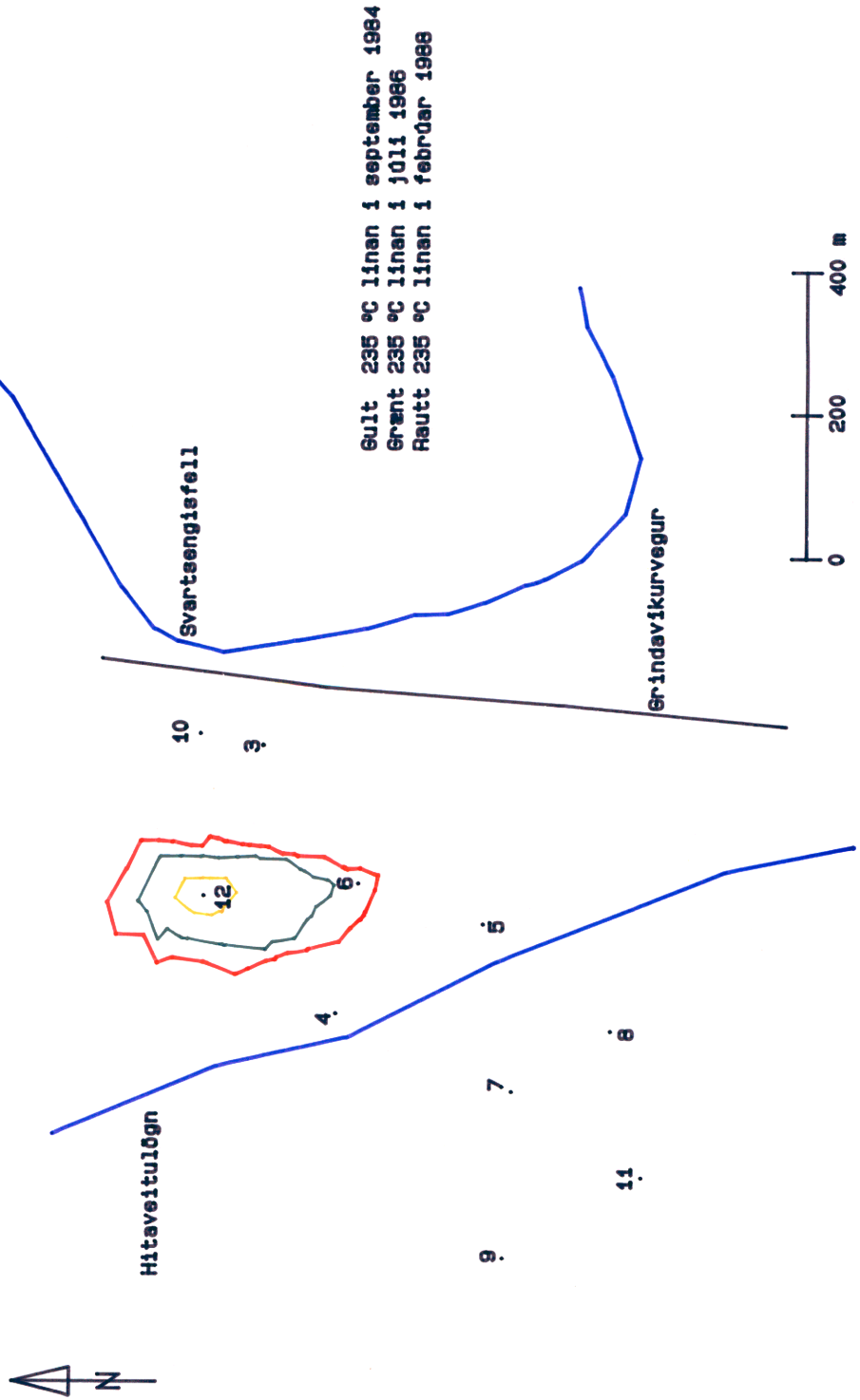
## SVARTSENGI

Reiknuð kæling í  
holu 6 1984 - 1988



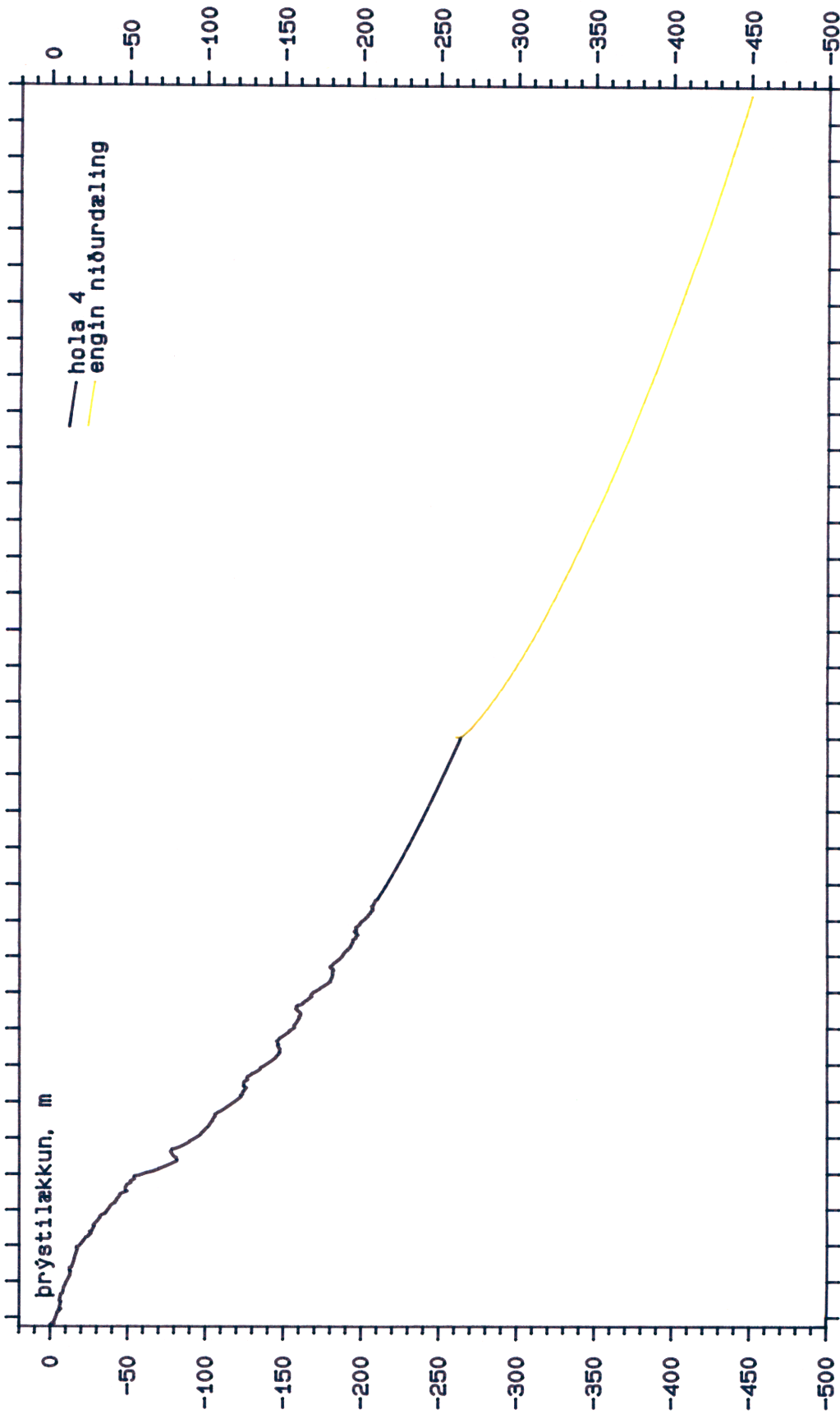
SVARTSENGI

Reiknuð færsla 235 °C hitalínu  
vegna niðurdælingar 1984 - 1988



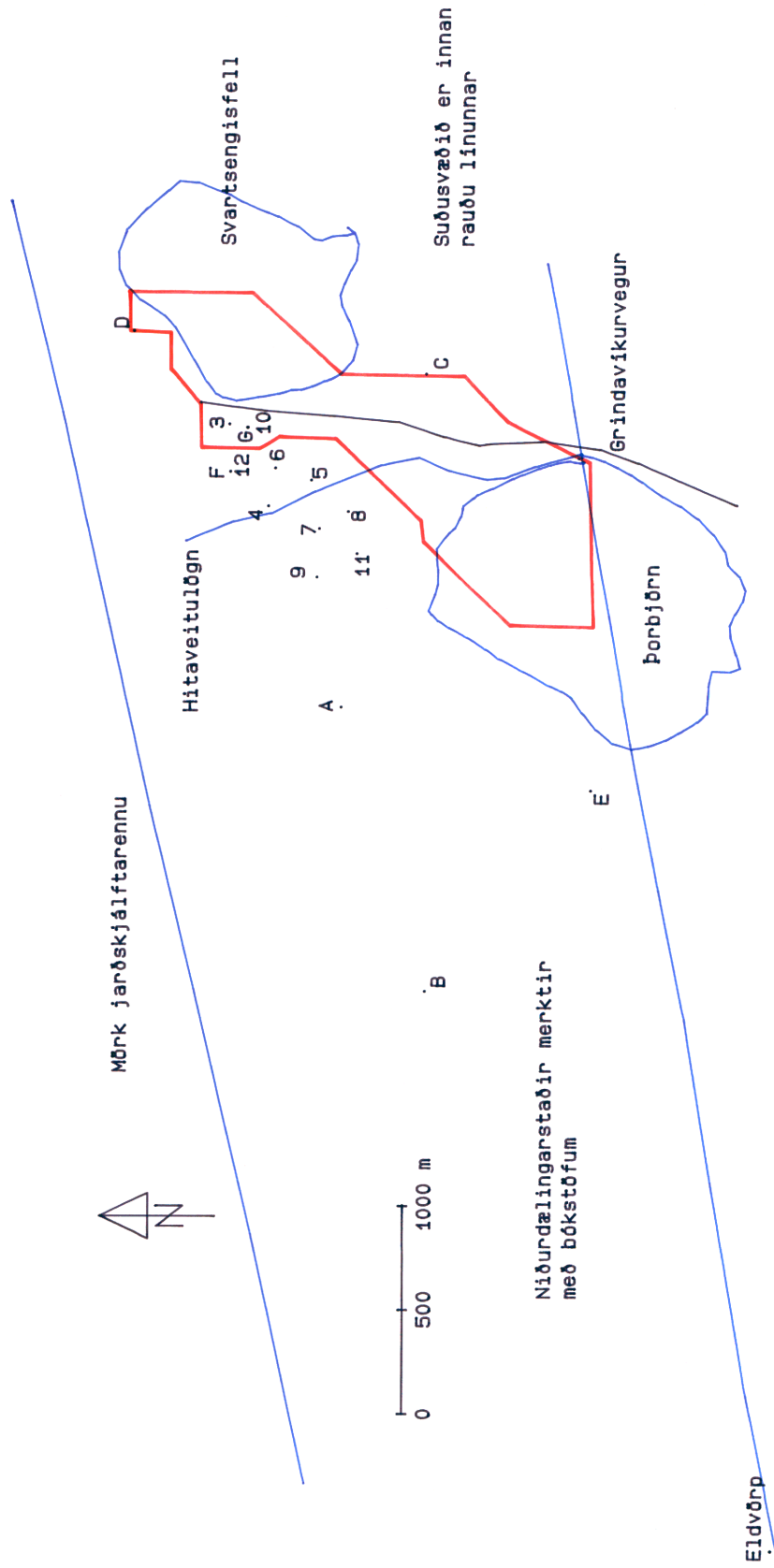
SVARTSENGI

Vatnsborð í holu 4 1976 - 2010  
engin niðurdæling frá 1993



76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

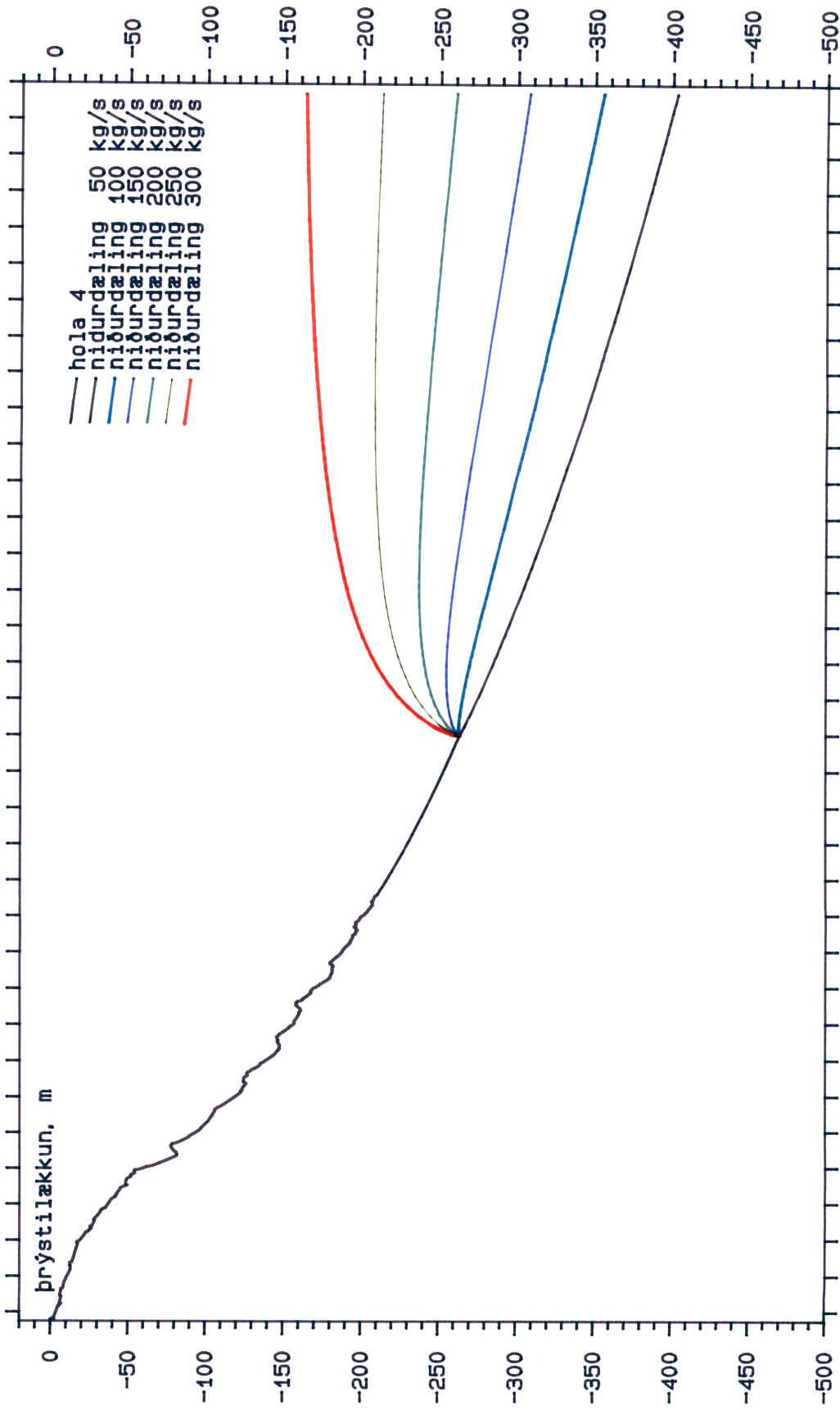
SVARTSENGI  
Staðsetning niðurdælingar



SVARTSENGI

Vatnsborð í holu 4 1976 - 2010  
niðurdælingarstaður A frá 1993

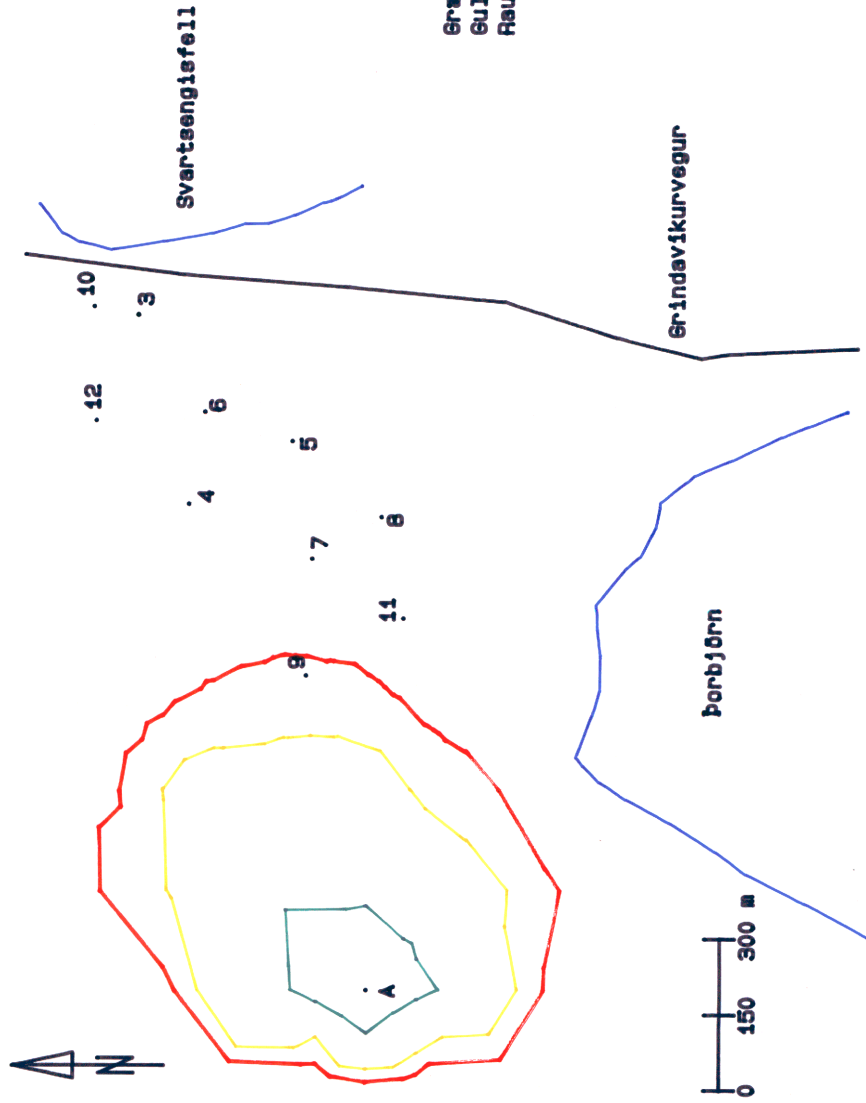
ORKUSTOFNUN



76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

SVARTSENGI

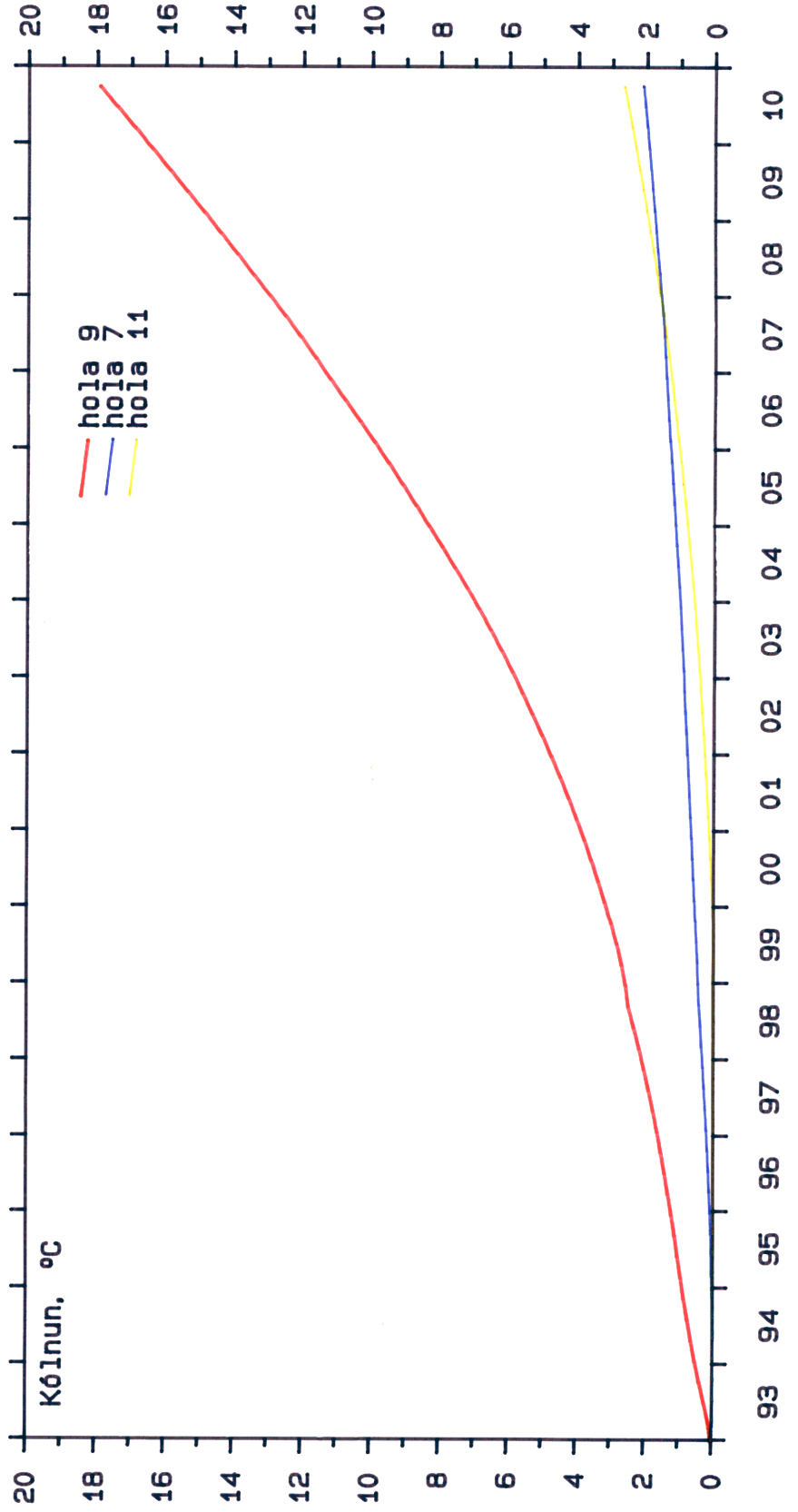
Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
línunnar vegna 200 kg/s niður-  
dælingar af 70°C vatni á stað A



Græn lína : 10°C línan á miðju ári 1994  
Gul lína : 10°C línan á miðju ári 2002  
Rauð lína : 10°C línan á árinu 2010

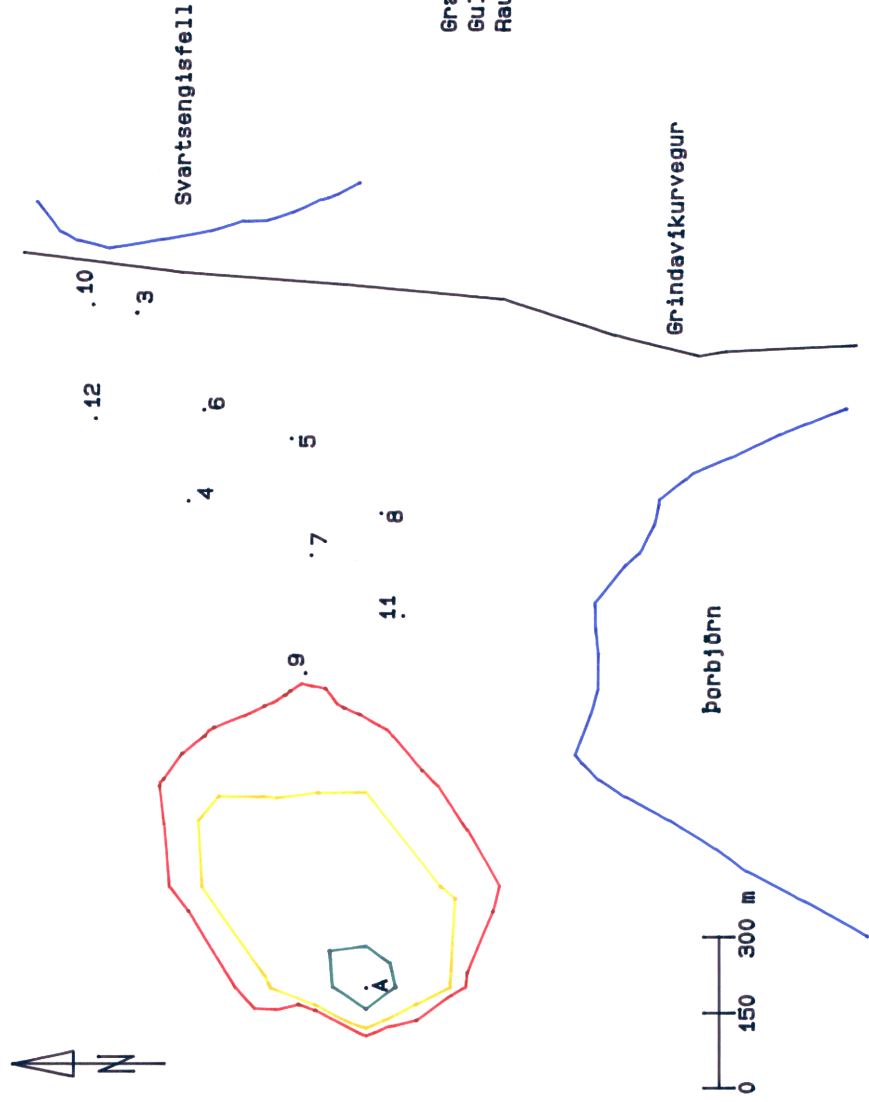
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað A



SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
línunnar vegna 200 kg/s niður-  
dælingar af 150°C vatni á stað A

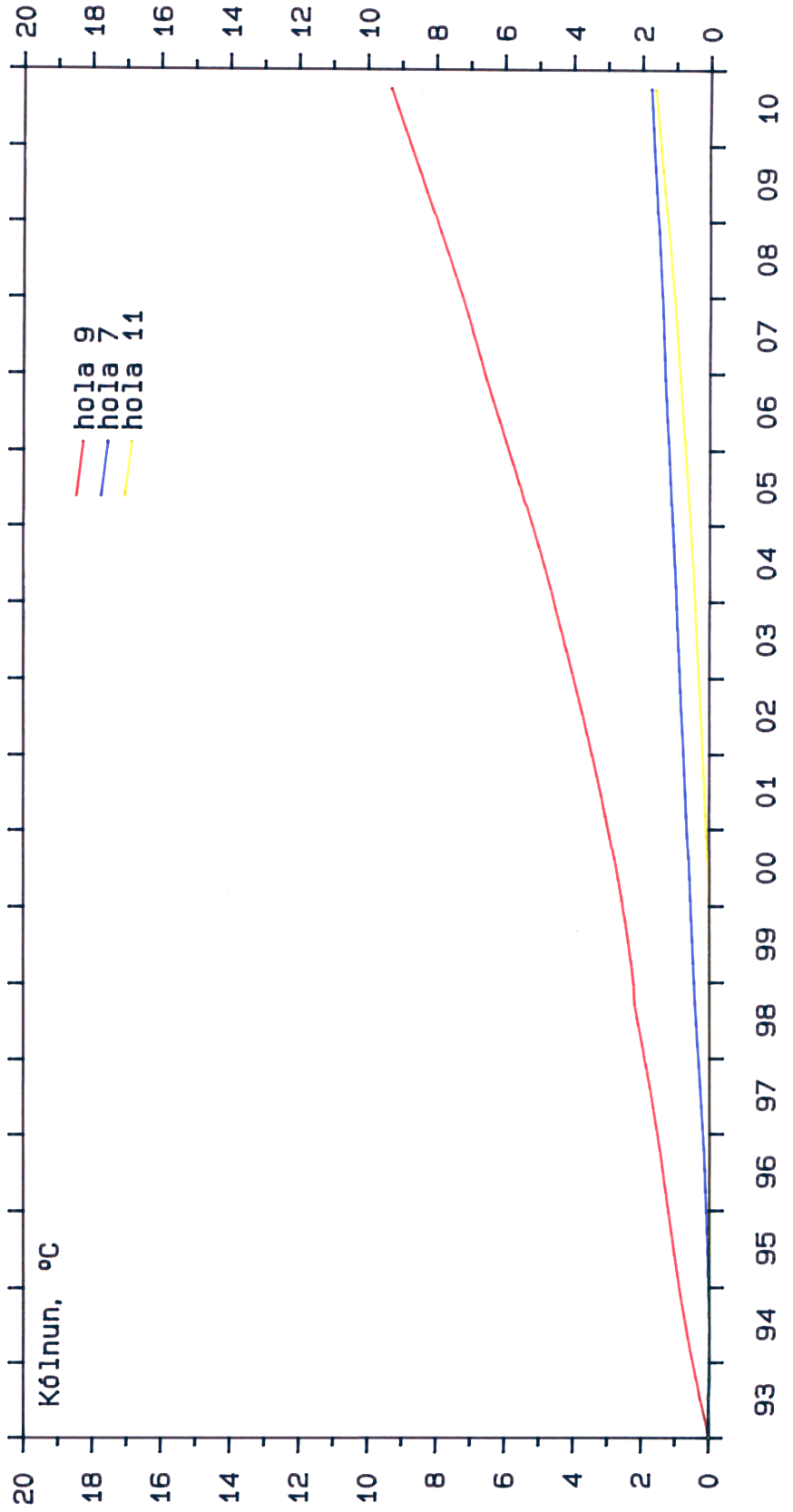


Græn lína : 10°C línan á miðju ári 1994  
Gul lína : 10°C línan á miðju ári 2002  
Rauð lína : 10°C línan á árinu 2010



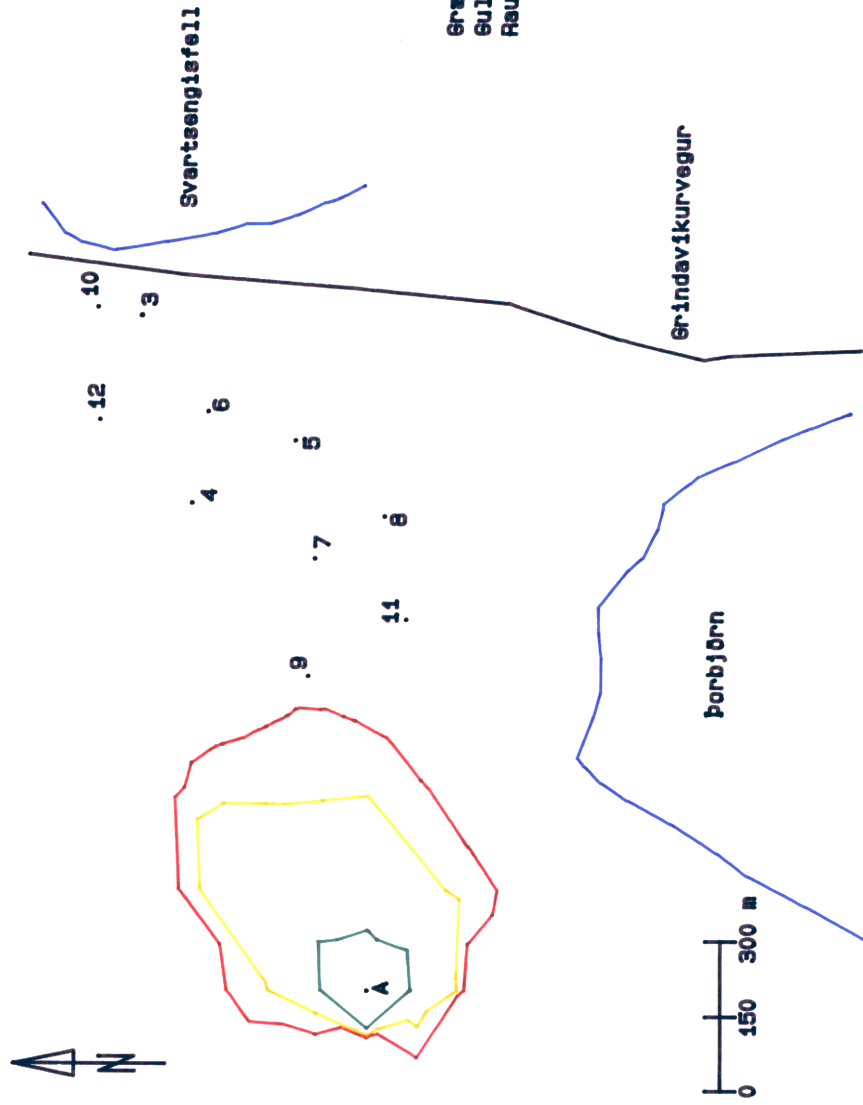
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað A



SVARTSENGI

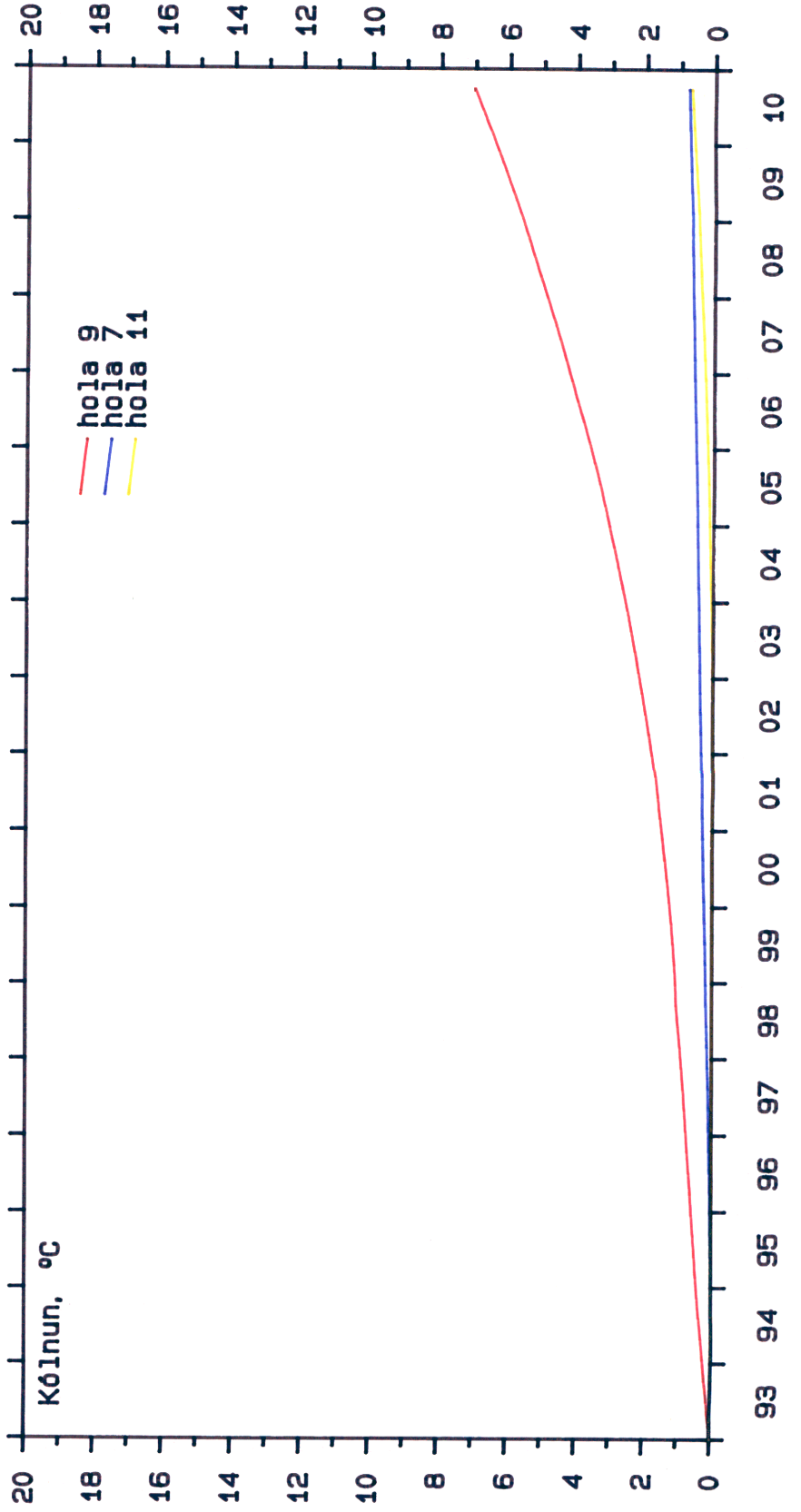
Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
linunnar vegna 100 kg/s niður-  
dælingar af 70°C vatni á stað A



Græn lína : 10°C línan á miðju ári 1994  
Gul lína : 10°C línan á miðju ári 2002  
Rauð lína : 10°C línan á árinu 2010

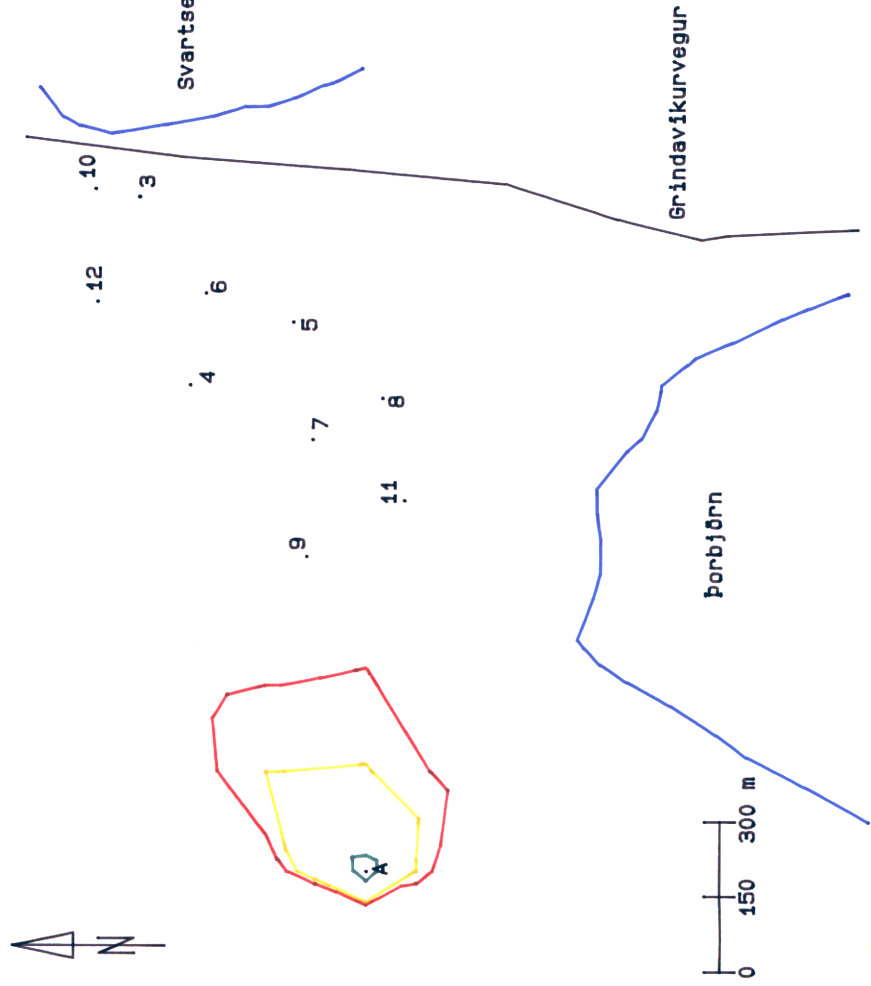
SVARTSENGI

Reiknuð kólinun árin 1993 - 2010  
vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað A



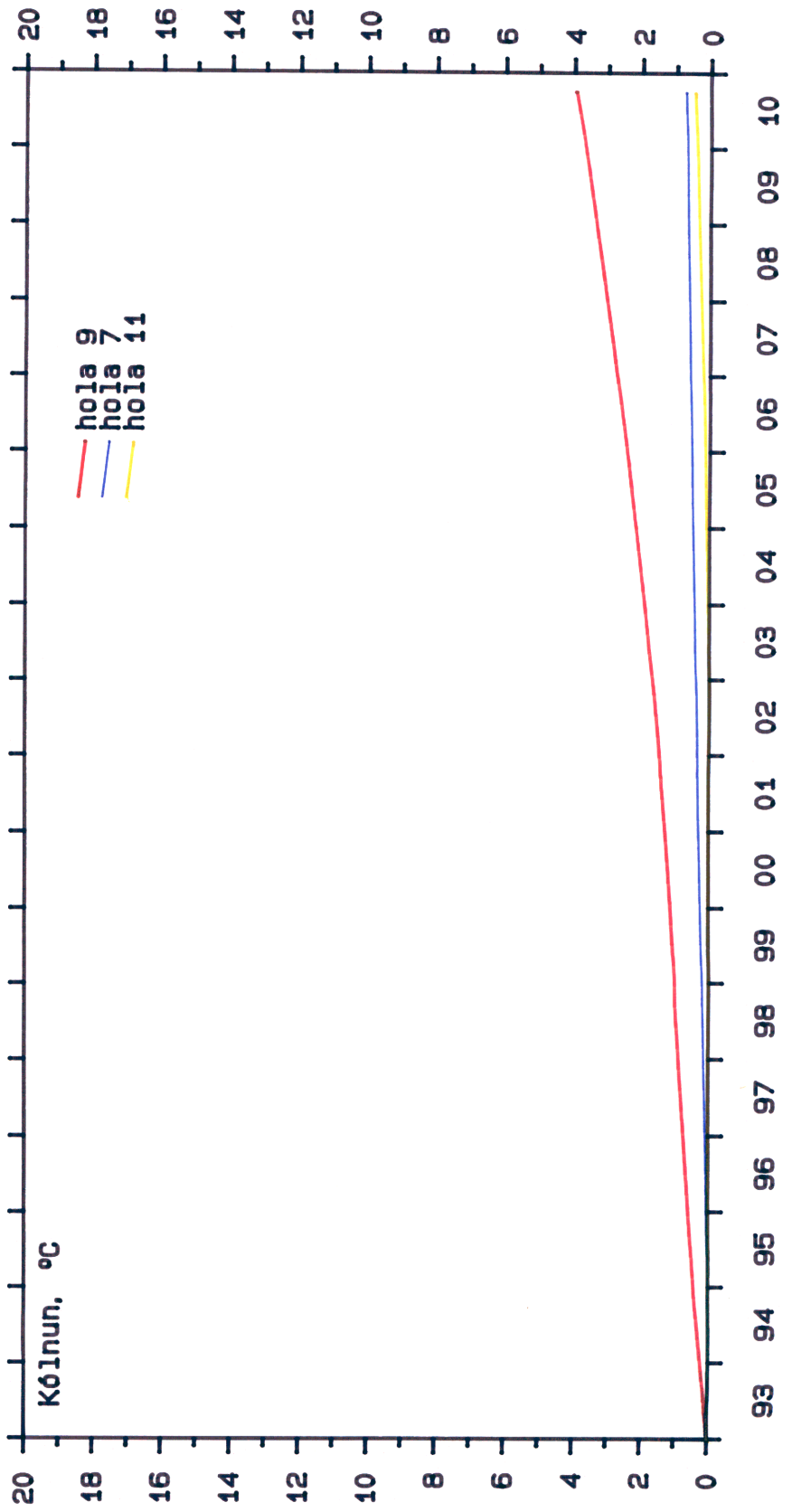
SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
línunnar vegna 100 kg/s niður-  
dælingar af 150°C vatni á stað A



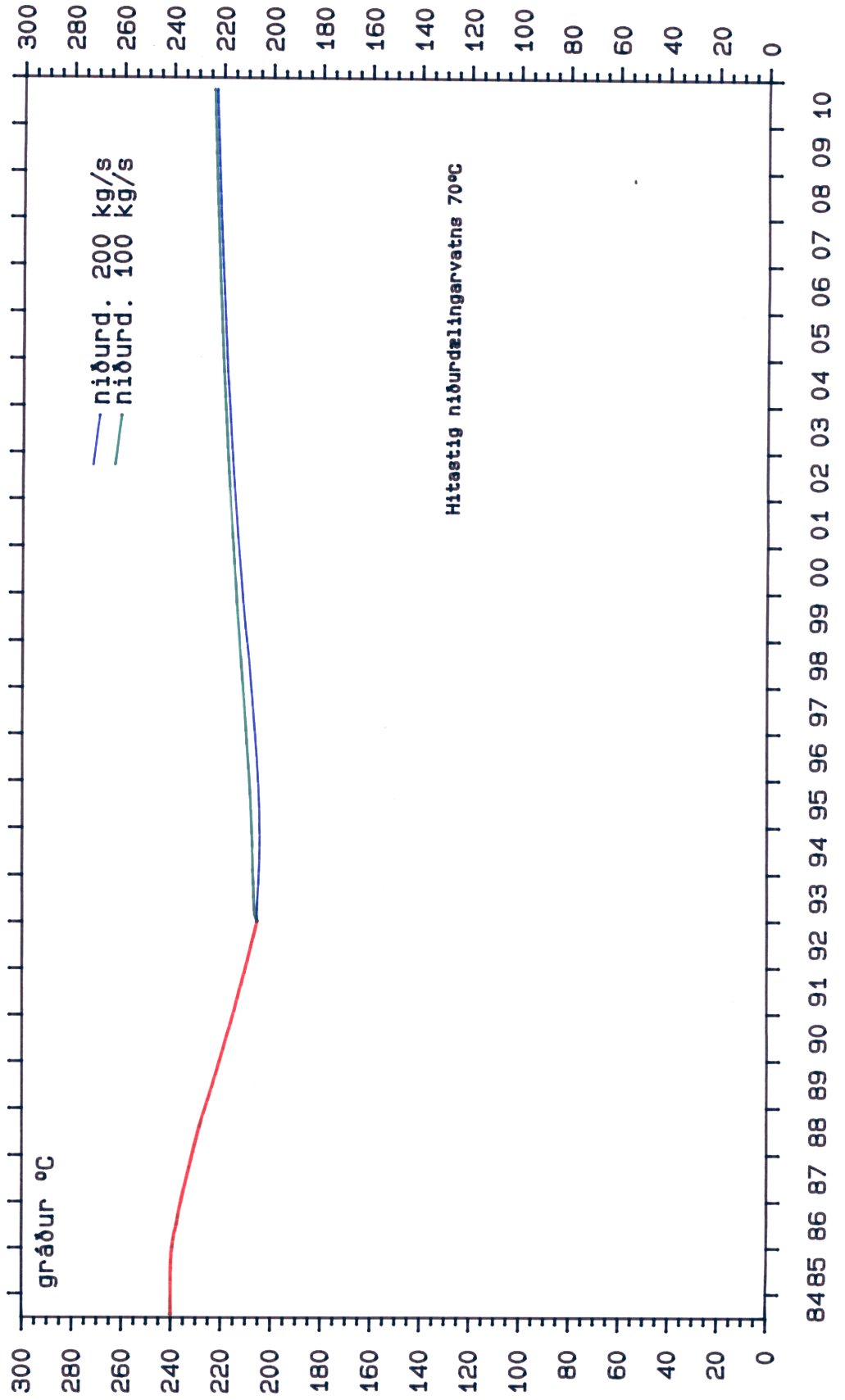
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað A



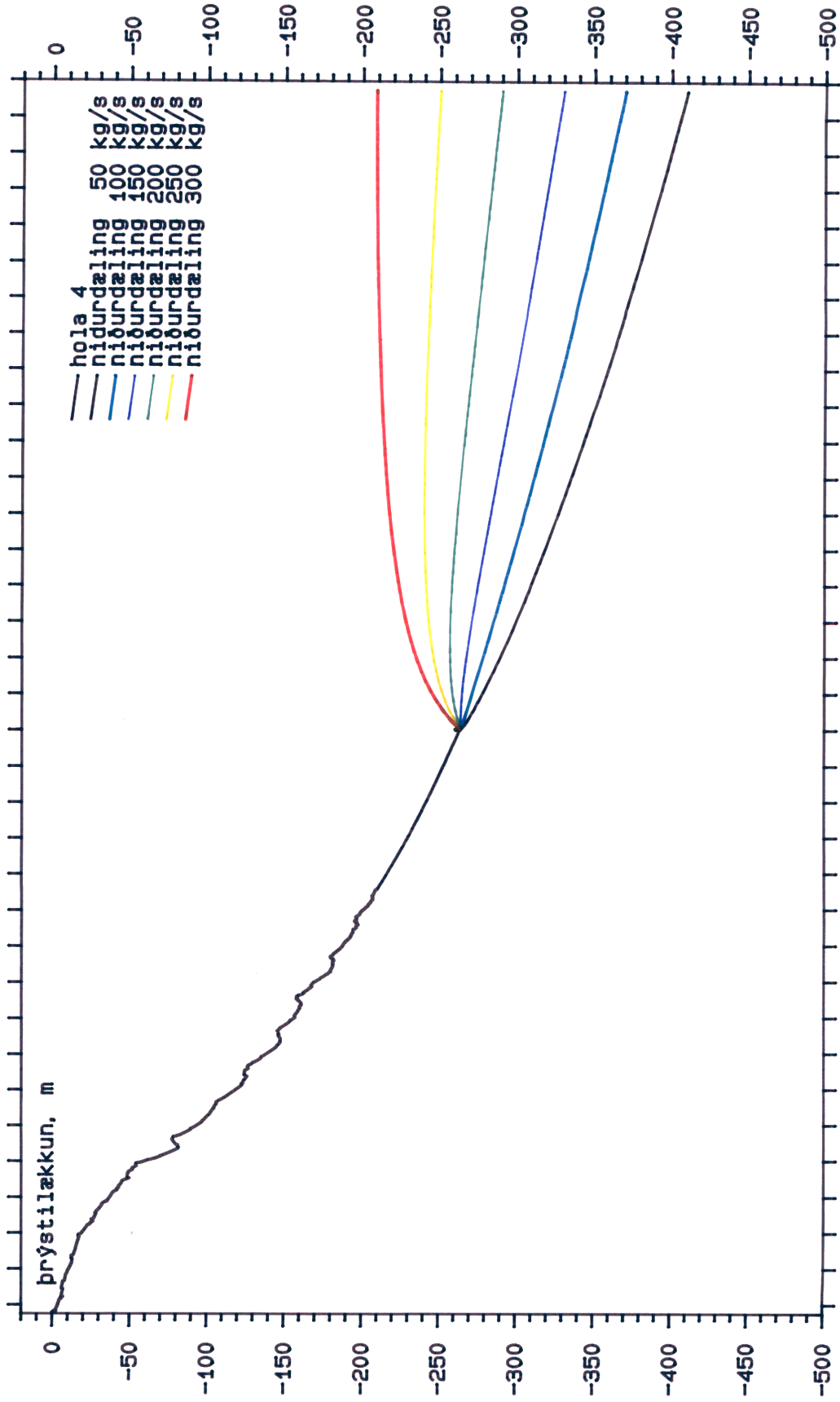
SVARTSENGI

Reiknað hitastig í holu 6  
árin 1993 - 2010 þegar dælt  
er niður í stað A



SVARTSENGI

Vatnsborð í holu 4 1976 - 2010  
niðurdælingarstaður B frá 1993



76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

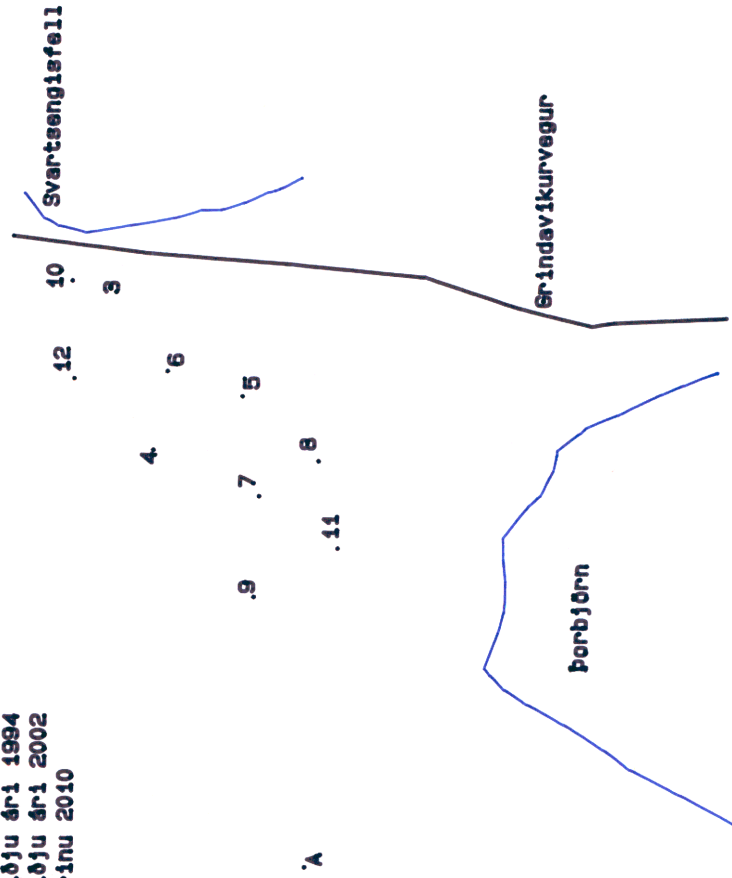
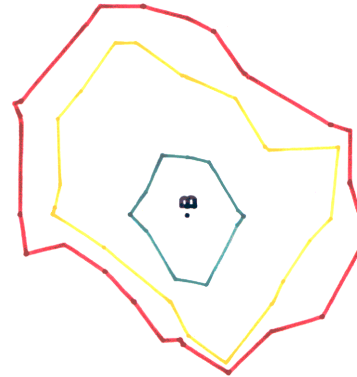
# ORKUSTOFNUN

## SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
líunnar vegna 250 kg/s niður-  
dælingar af 70°C vatni á stað B



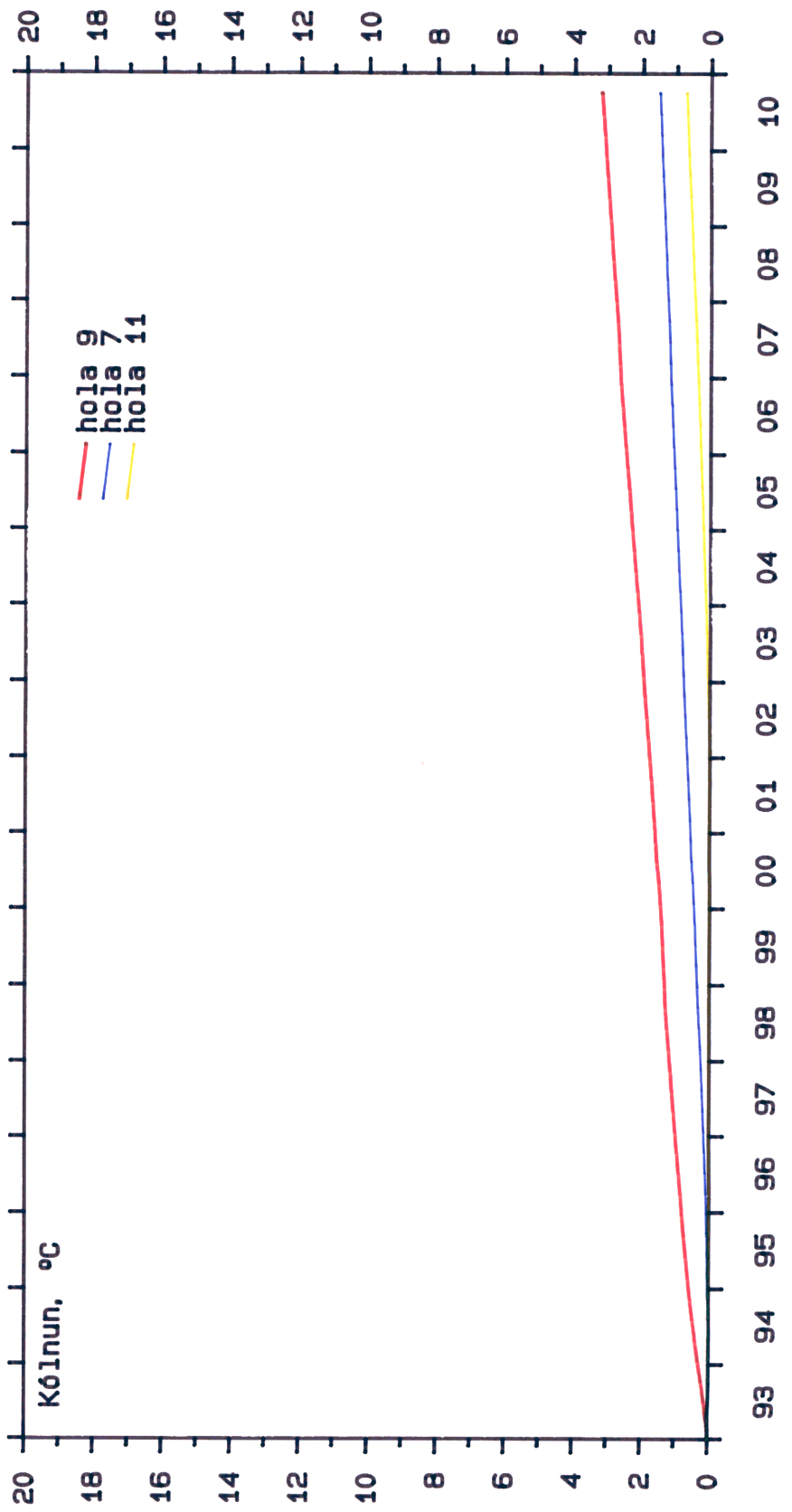
Græn lína : 10°C línan á miðju ári 1994  
Gul lína : 10°C línan á miðju ári 2002  
Rauð lína : 10°C línan á árinu 2010





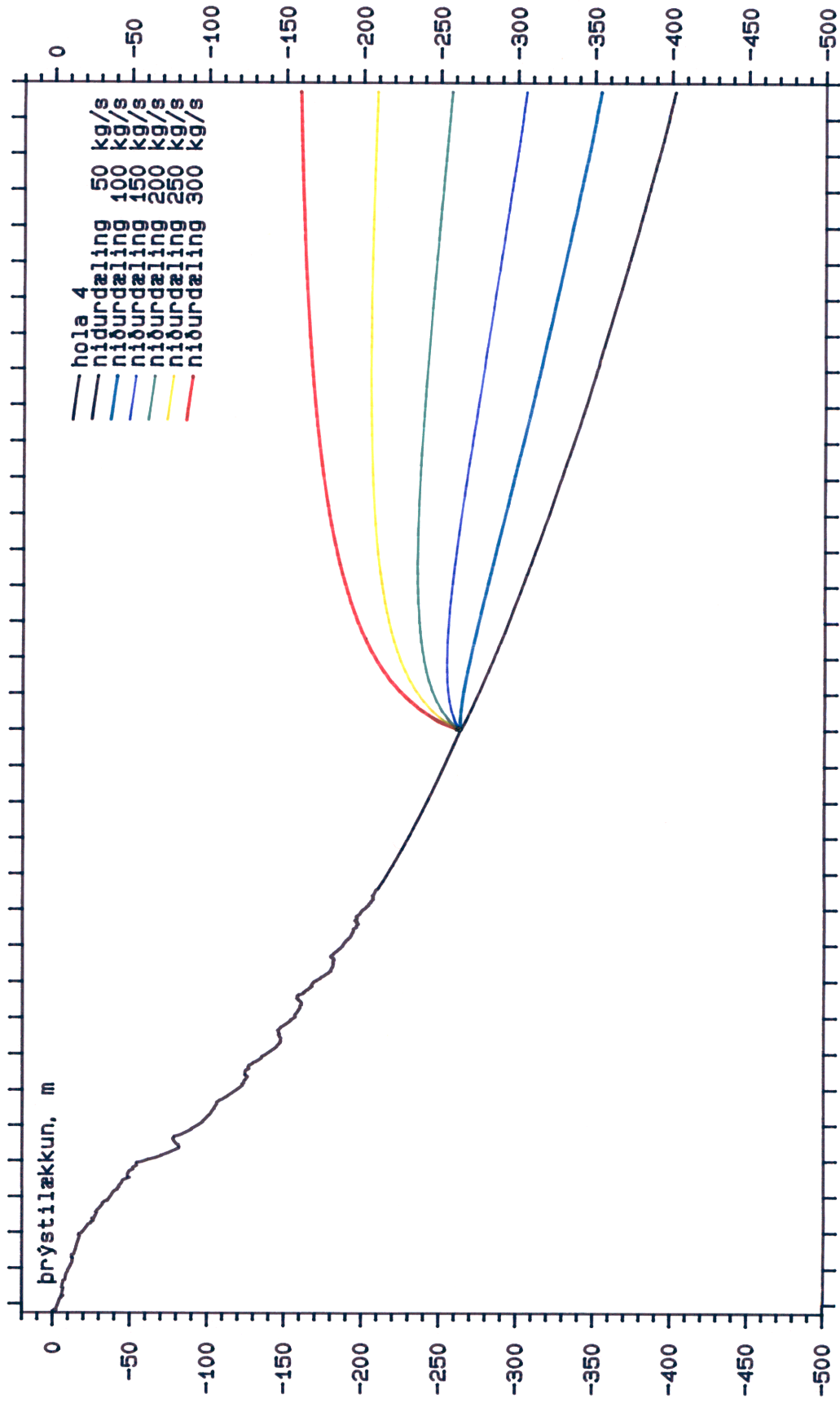
SVARTSENGI

Reiknuð kólinun árin 1993 - 2010  
vegna 250 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað B



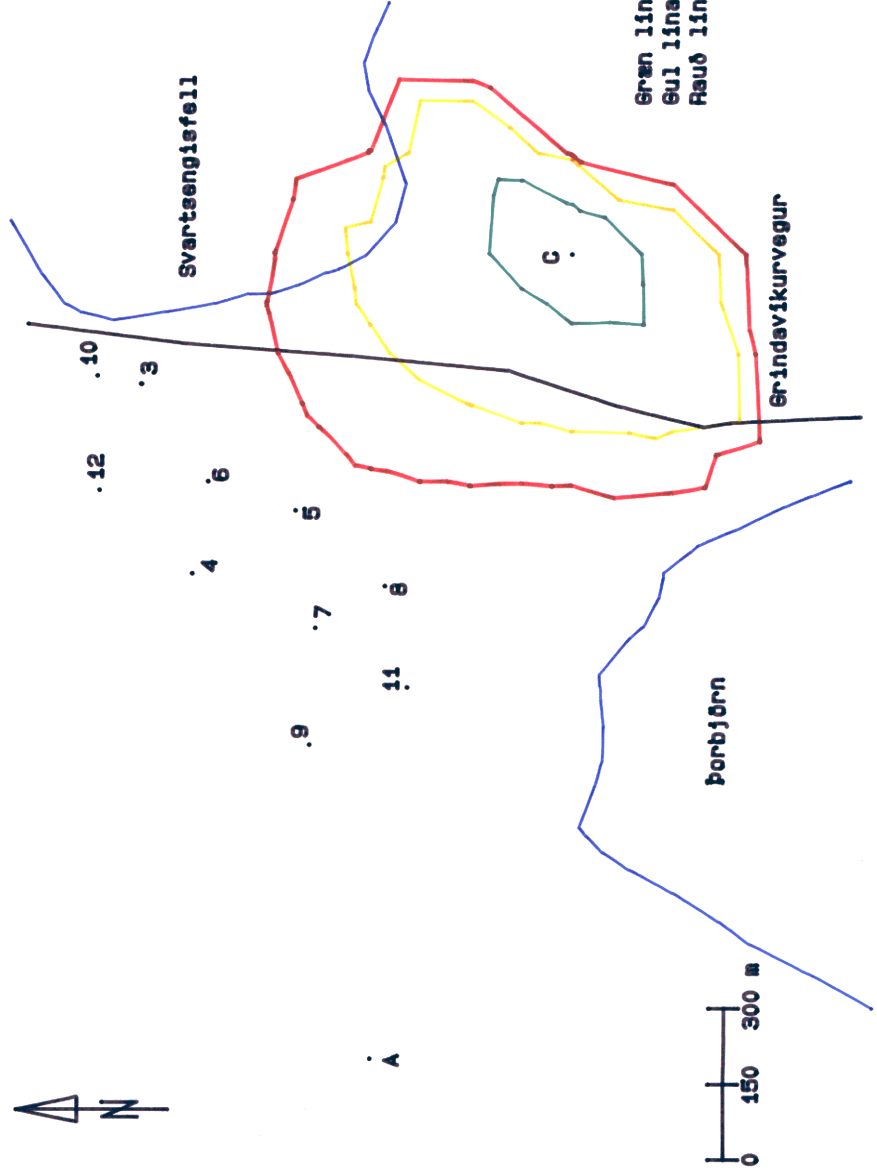
SVARTSENGI

Vatnsborð 1 holu 4 1976 - 2010  
niðurdælingarstaður C frá 1993



SVARTSENGI

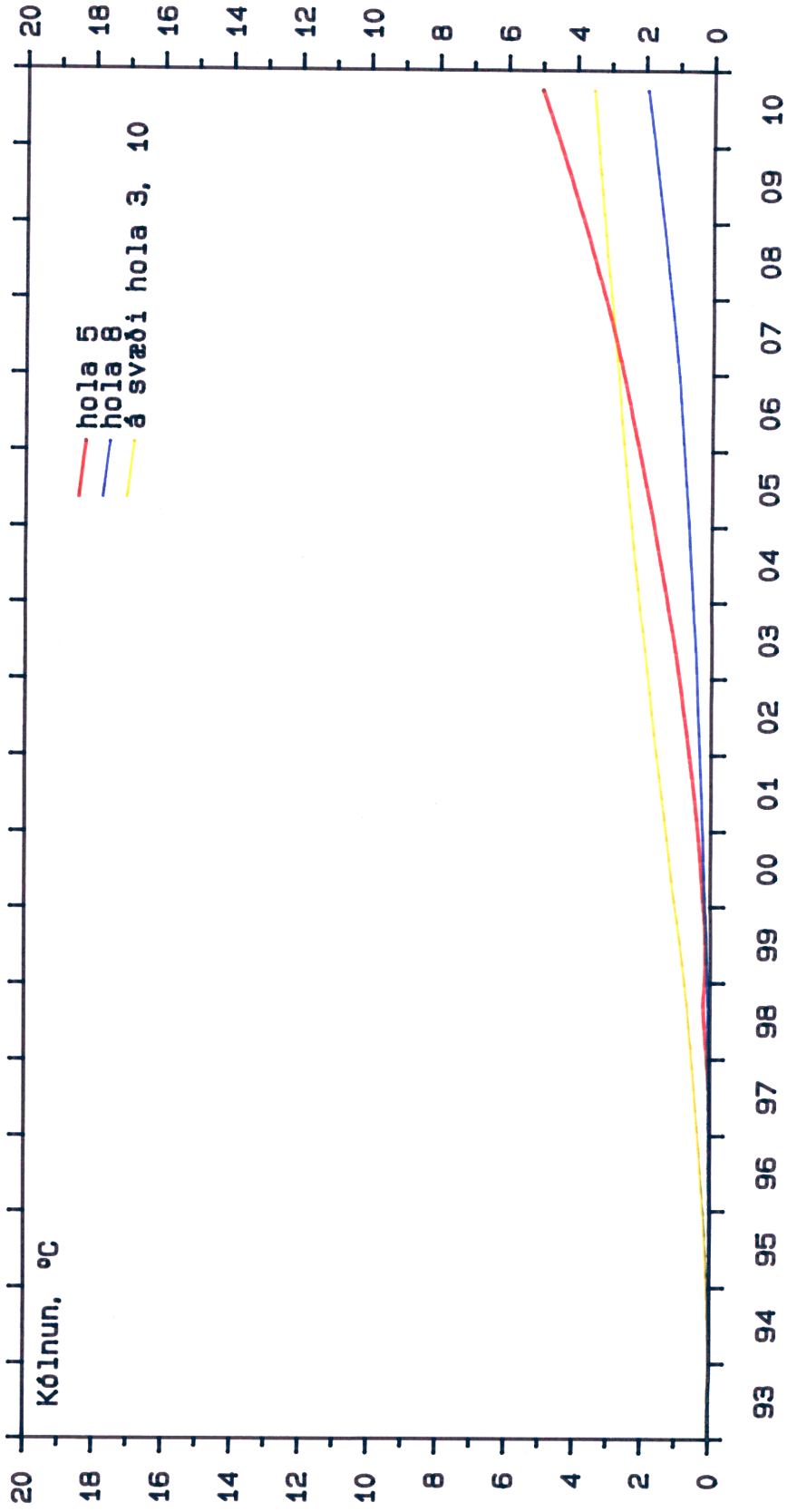
Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
línunnar vegna 200 kg/s niður-  
dælingar af 70°C vatni á stað C



Græn lína : 10°C línan á miðju ári 1994  
Blá lína : 10°C línan á miðju ári 2002  
Rauð lína : 10°C línan á árinu 2010

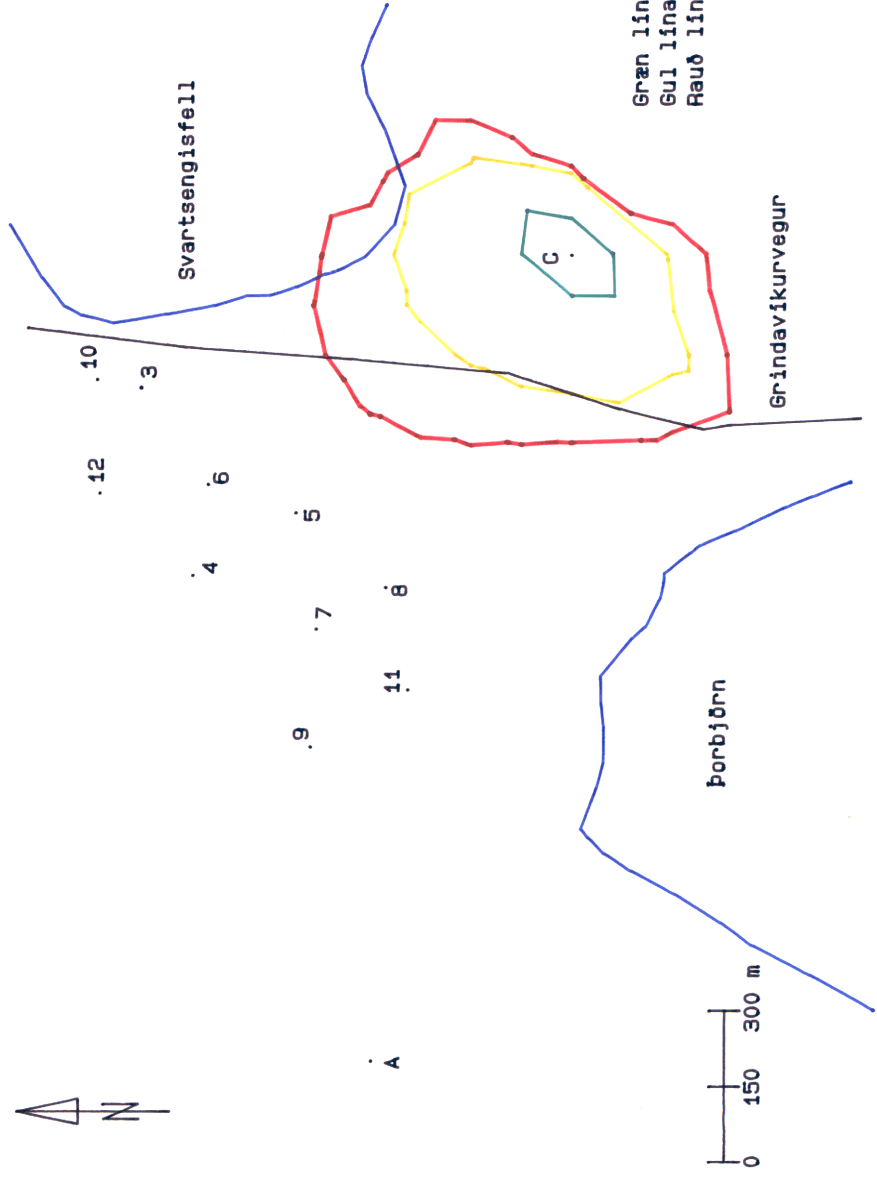
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað C



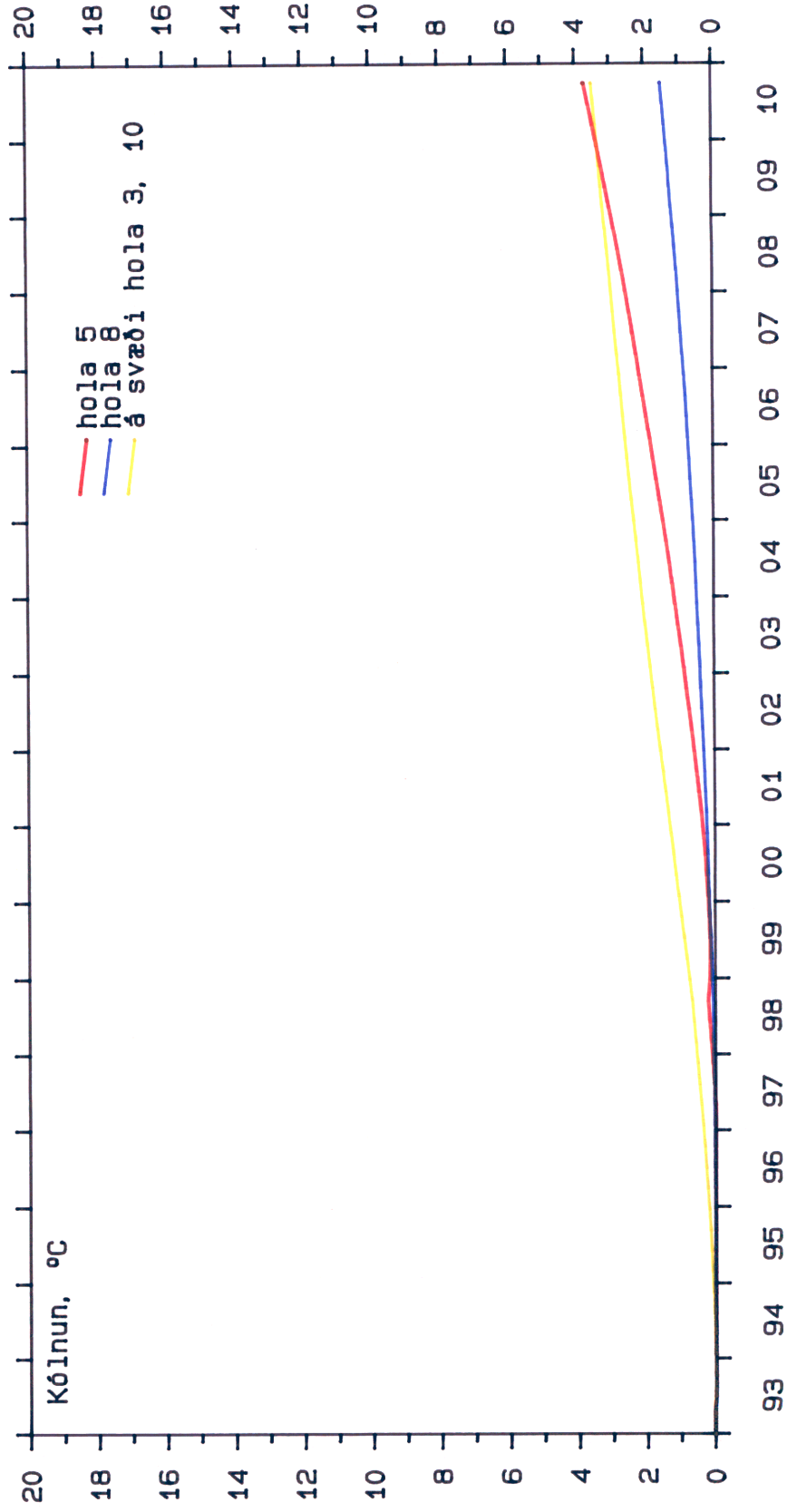
SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
línunnar vegna 200 kg/s niður-  
dælingar af 150°C vatni á stað C



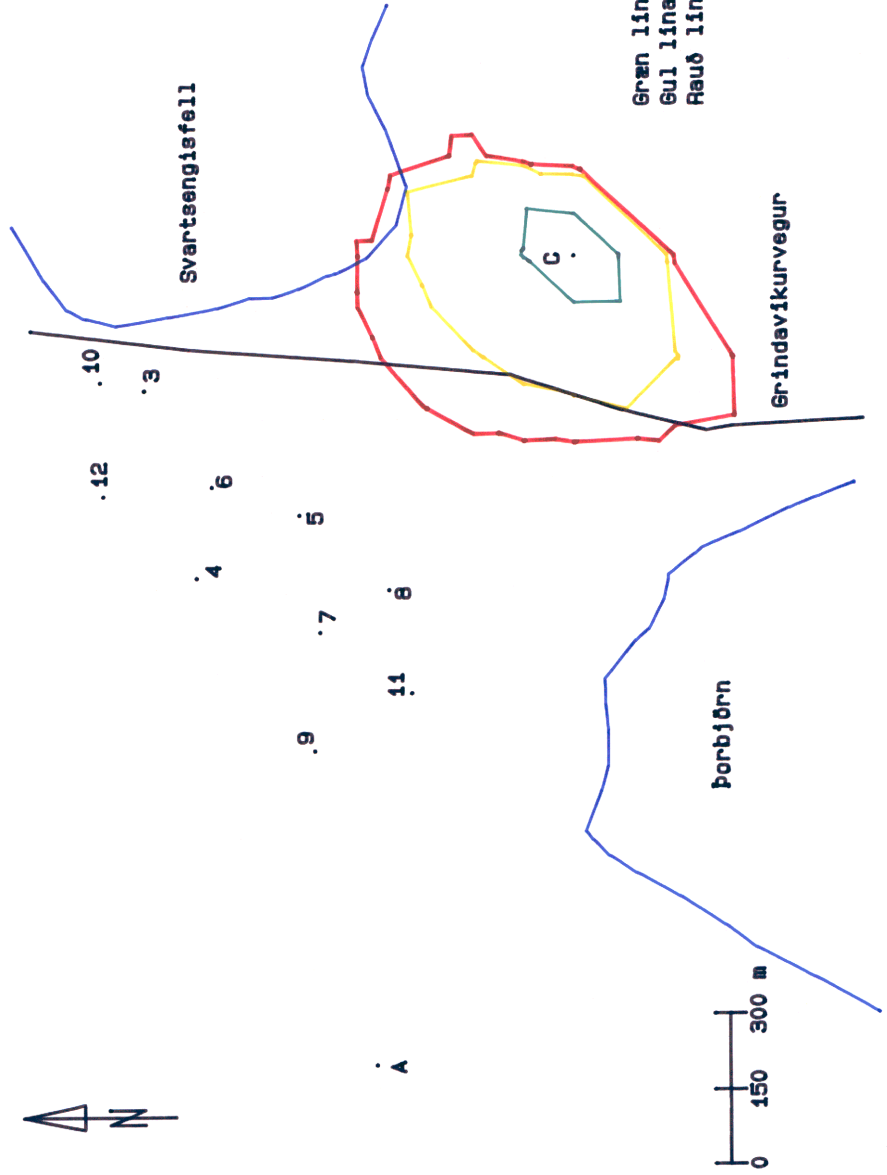
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað C



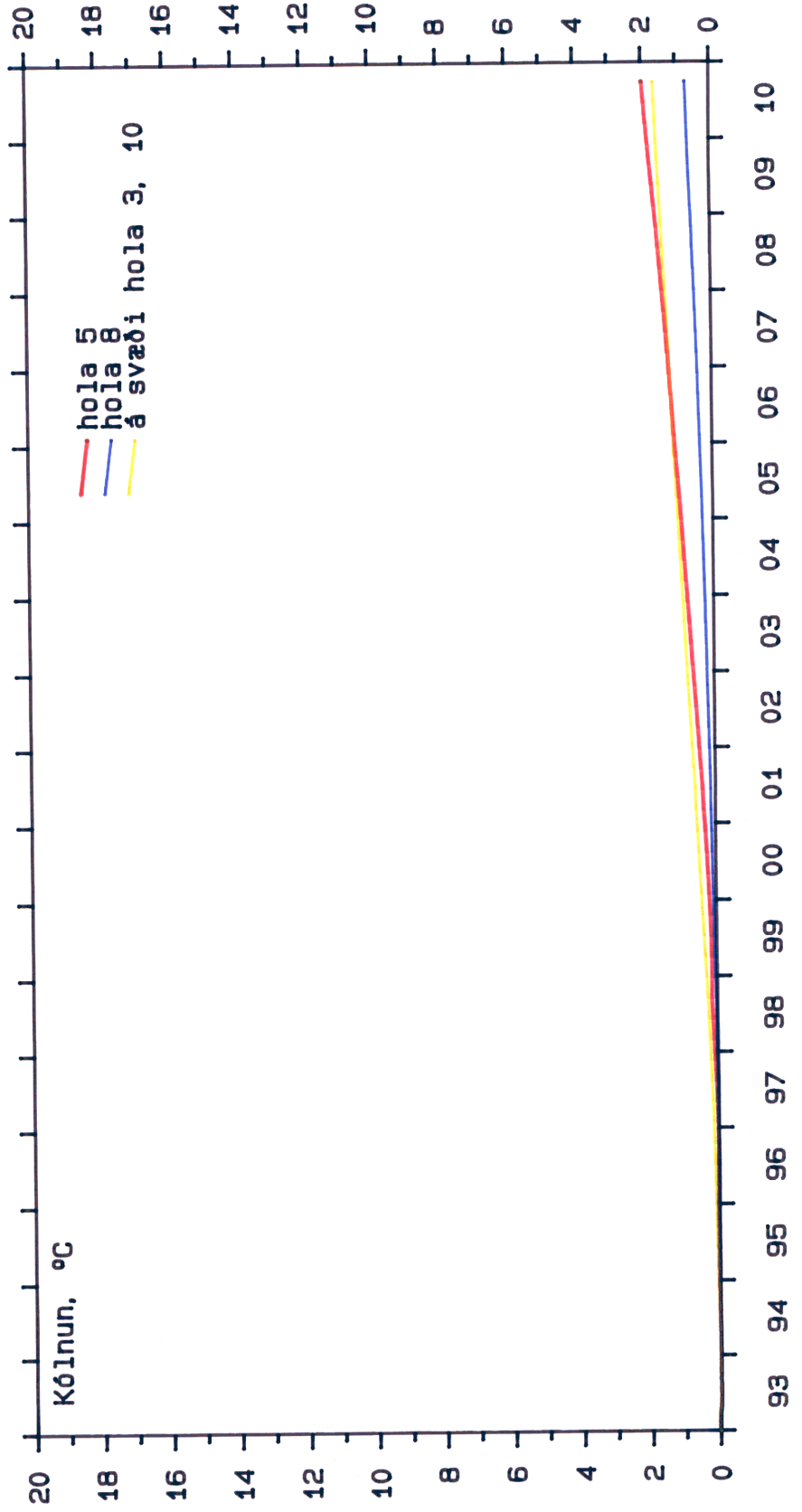
SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
lfnunna vegna 100 kg/s niður-  
dælingar af 70°C vatni á stað C



SVARTSENGI

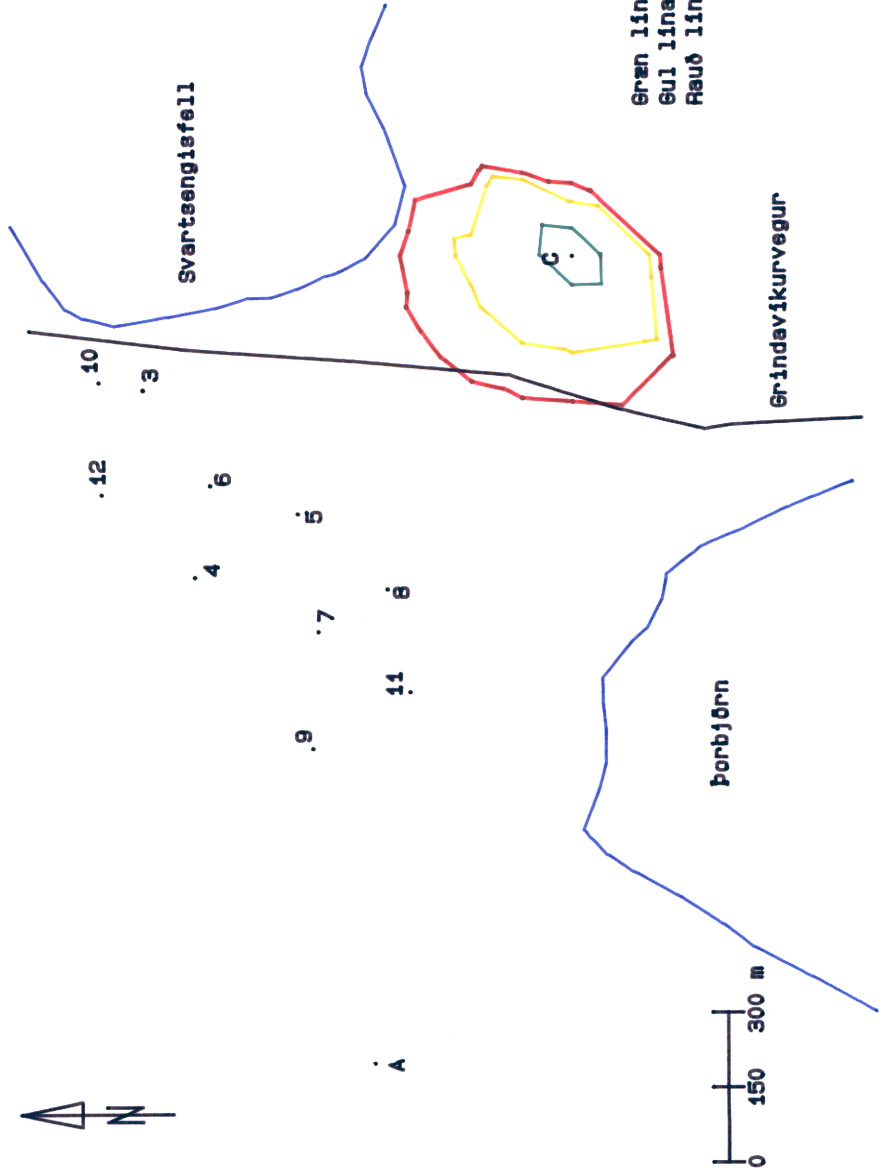
Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað C





SVARTSENGI

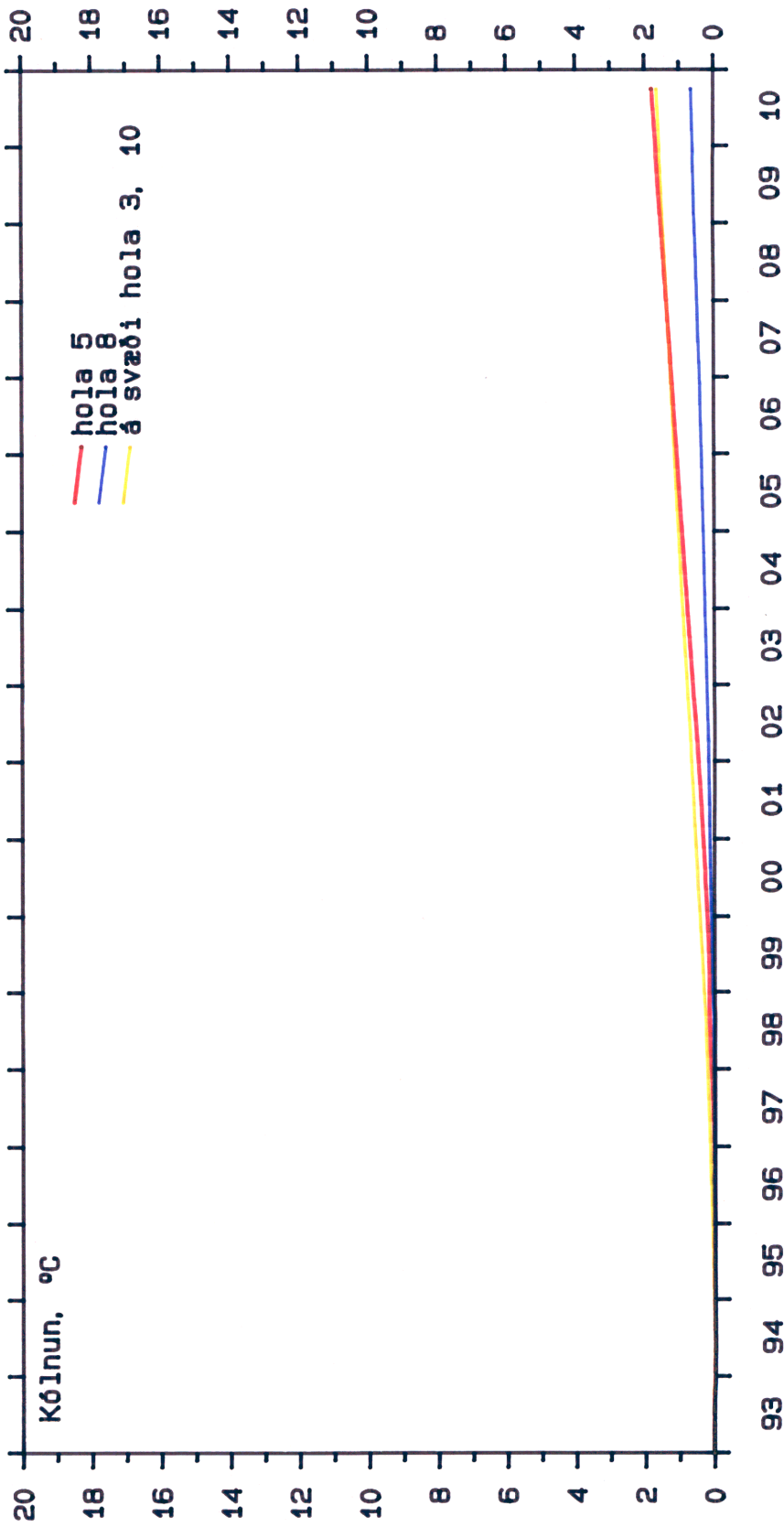
Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
lífunnar vegna 100 kg/s niður-  
dælingar af 150°C vatni á stað C



Græn lína : 10°C línan á miðju ári 1994  
Gul lína : 10°C línan á miðju ári 2002  
Rauð lína : 10°C línan á árinu 2010

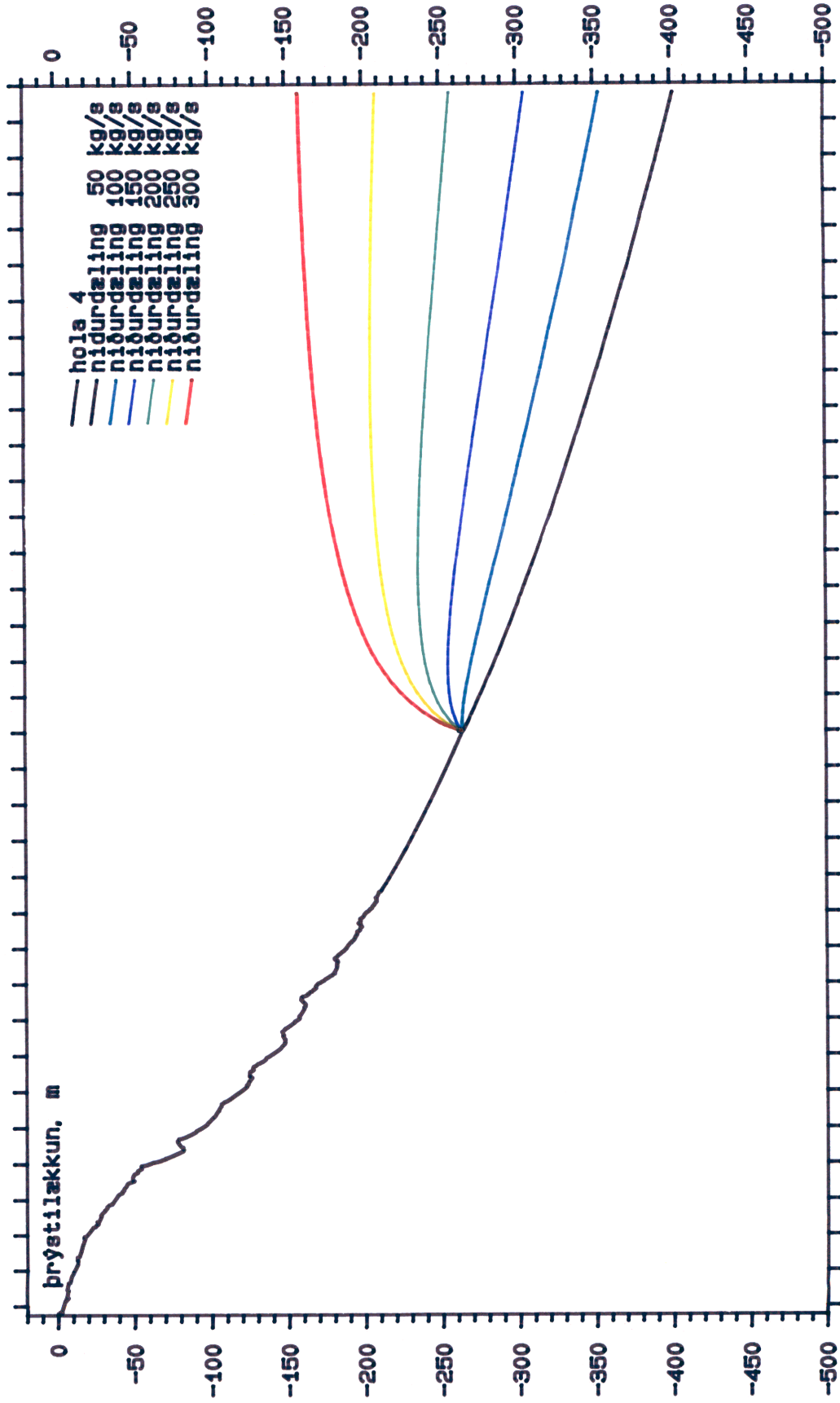
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað C



SVARTSENGI

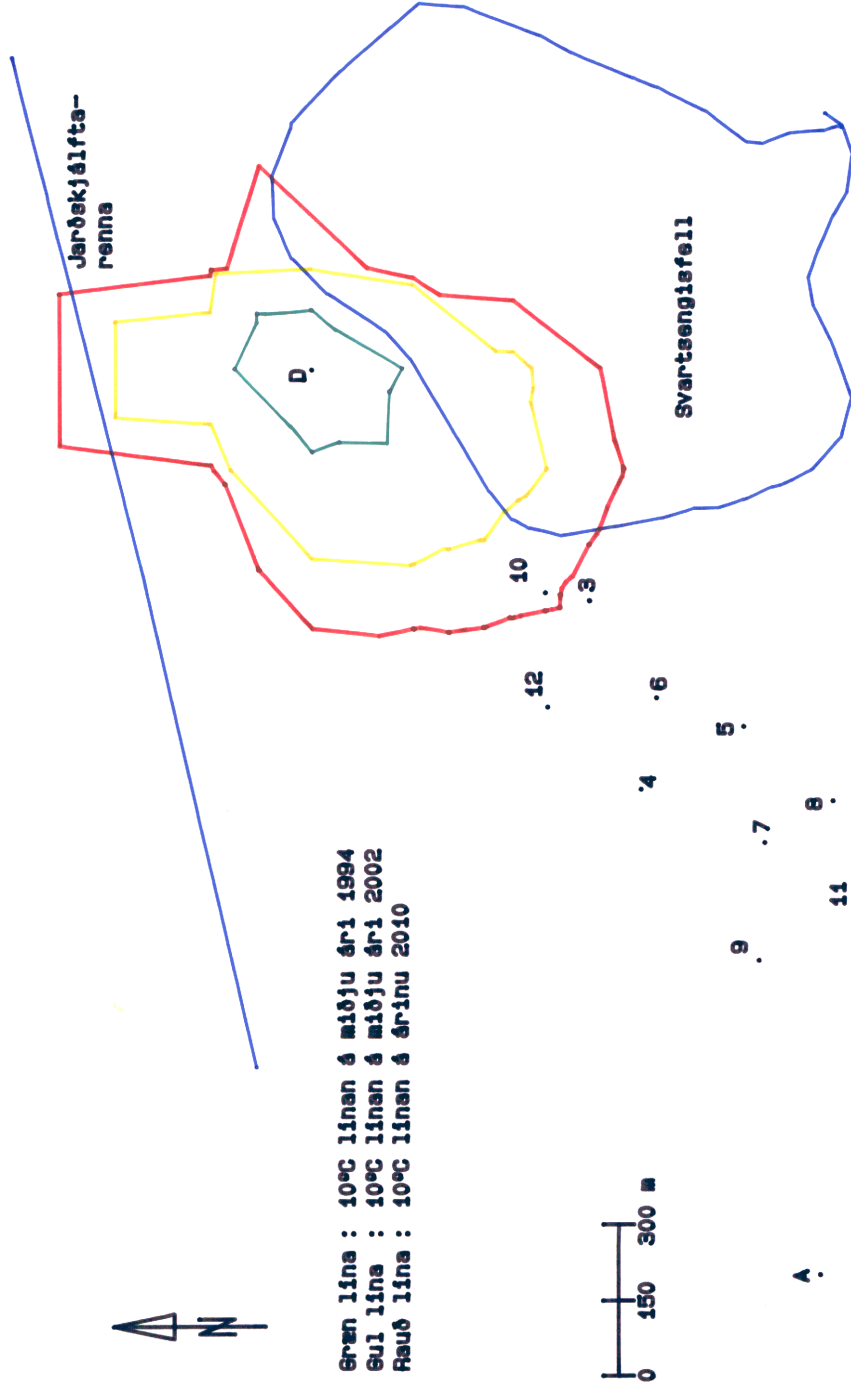
Vatnsborð 1 holu 4 1976 - 2010  
niðurdælingarstaður D frá 1993



76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

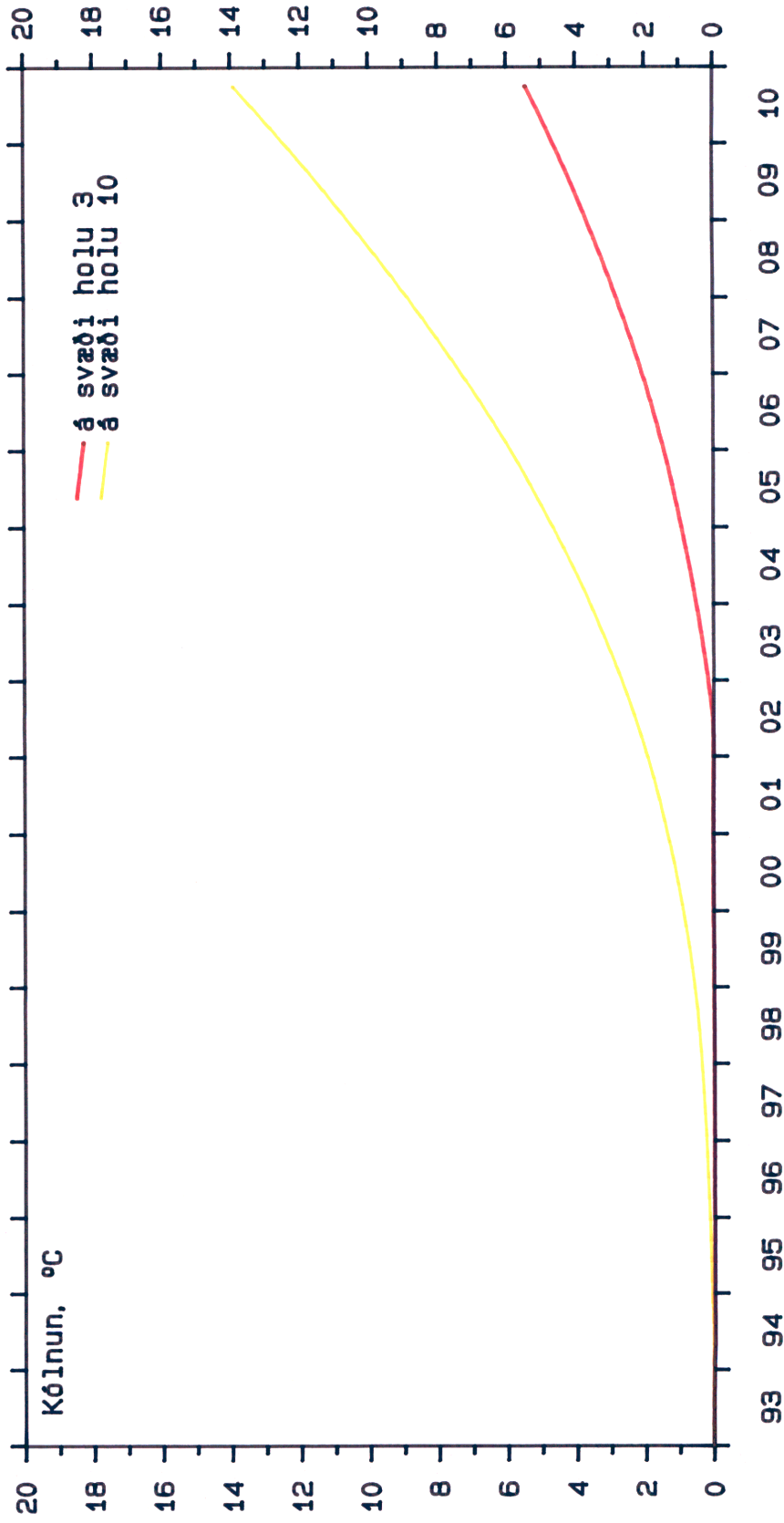
SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
línunnar vegna 200 kg/s niður-  
dælingar af 70°C vatni á stað D



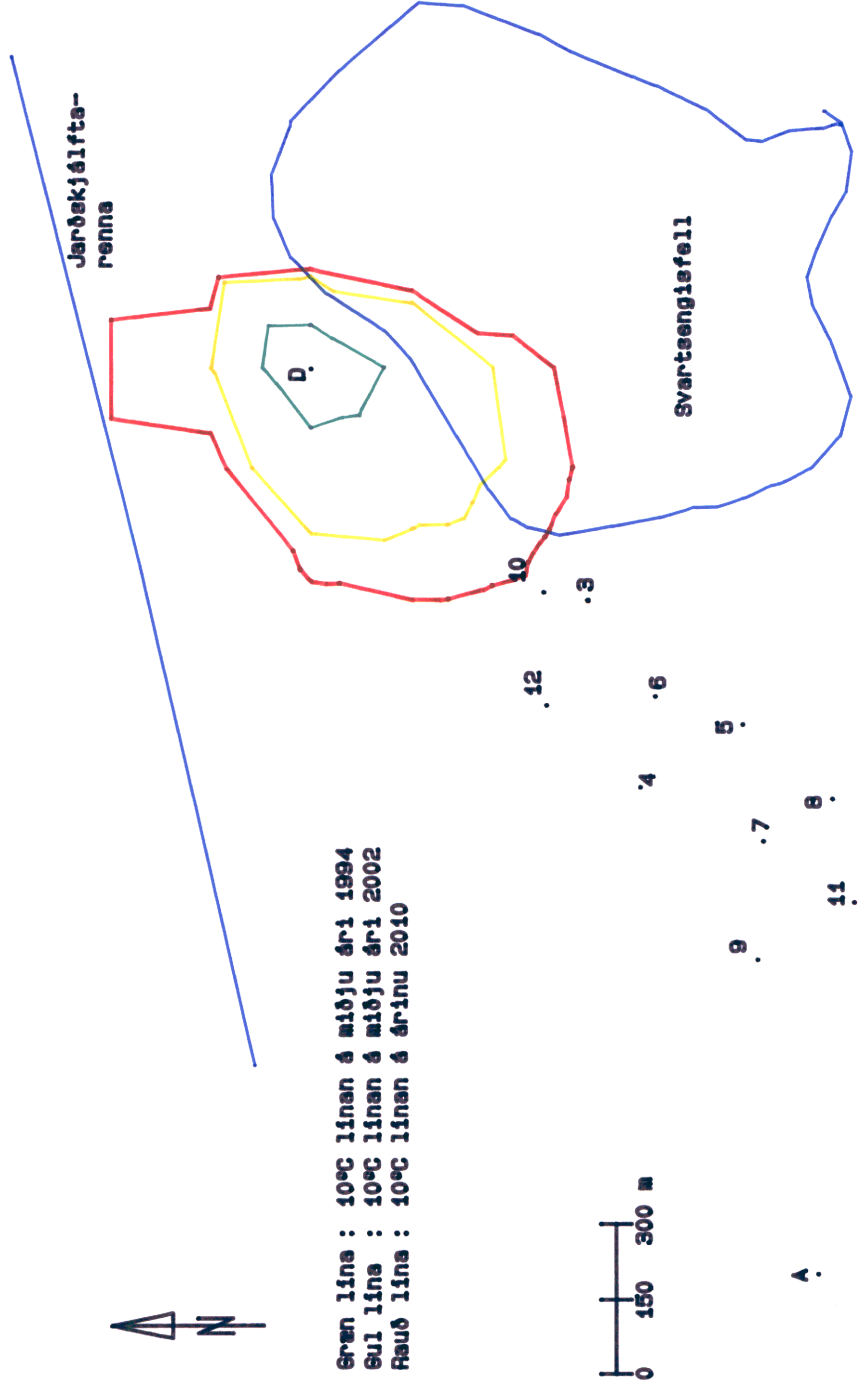
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað D



SVARTSENGI

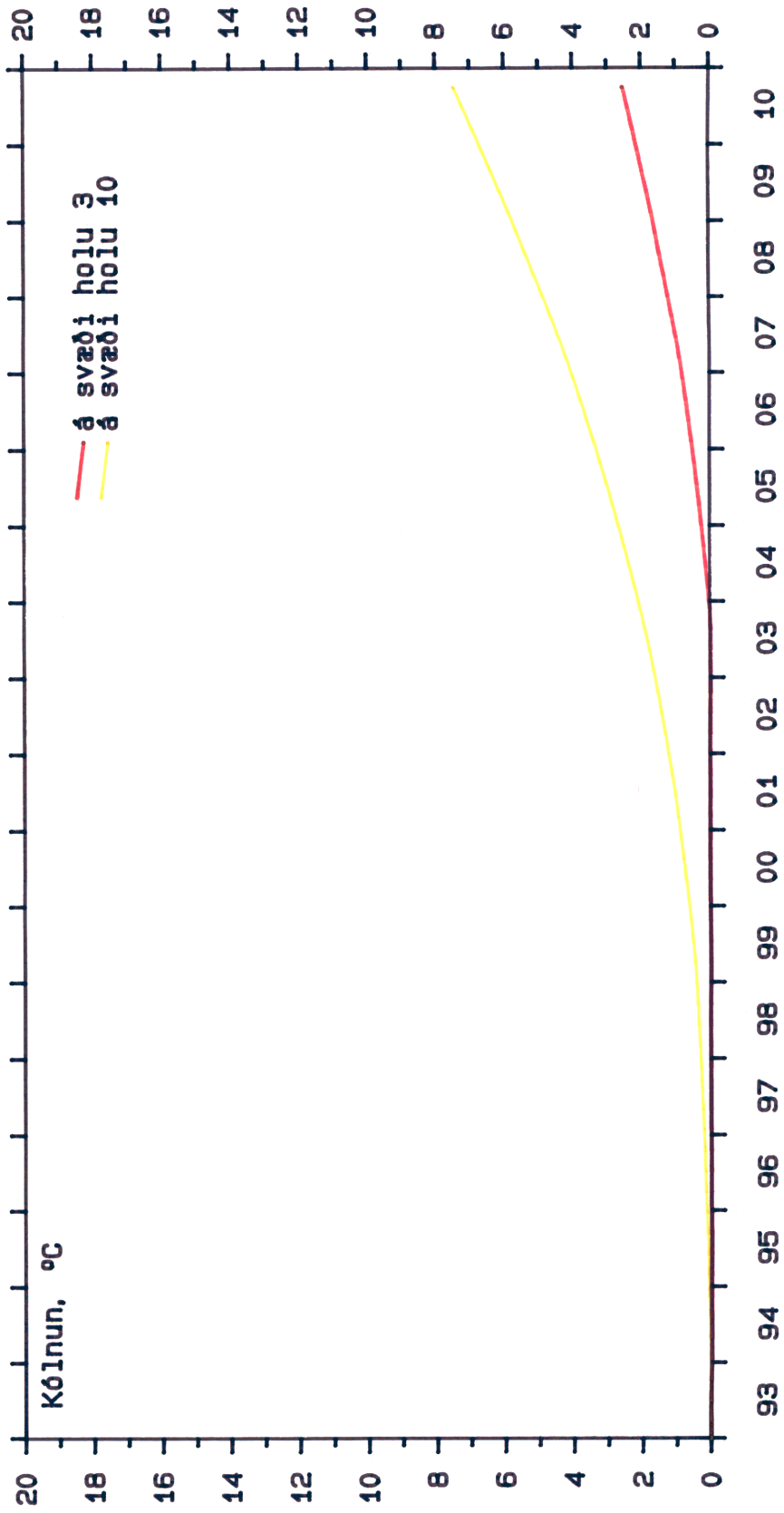
Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
línunnar vegna 200 kg/s niður-  
dælingar af 150°C vatni á stað D



Græn lína : 10°C línan á miðju ári 1994  
Gul lína : 10°C línan á miðju ári 2002  
Rauð lína : 10°C línan á árinu 2010

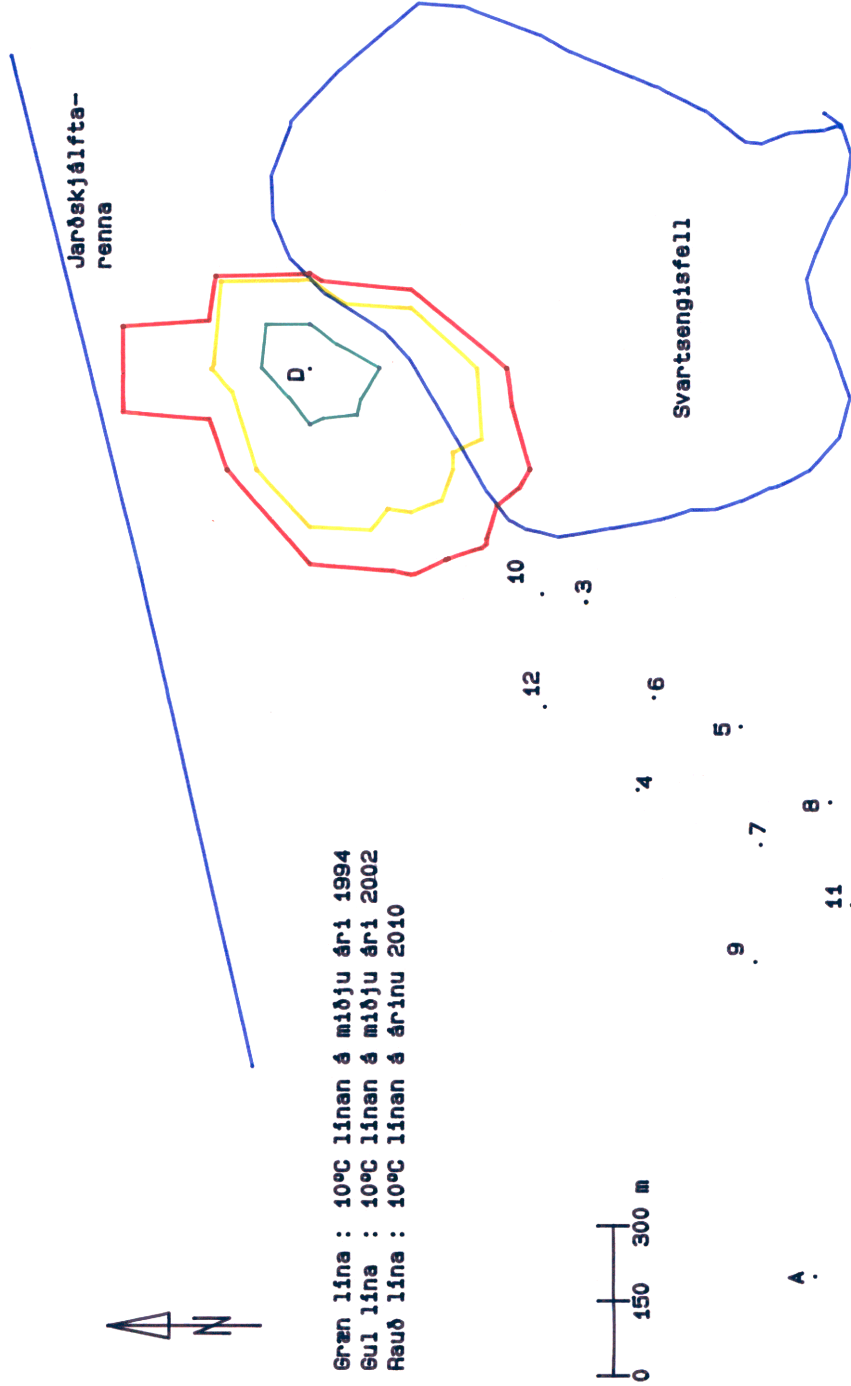
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað D



SVARTSENGI

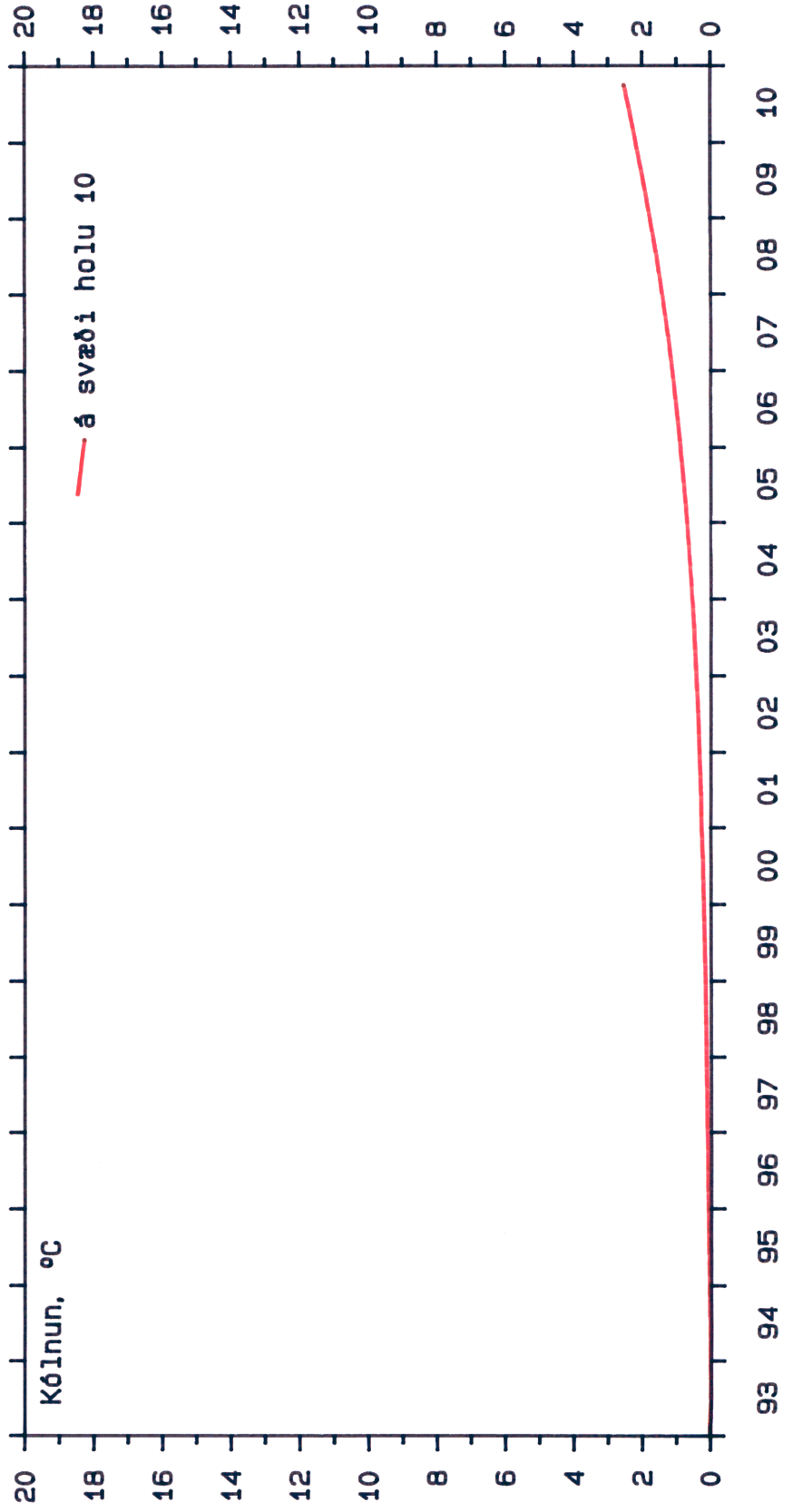
Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
línunnar vegna 100 kg/s niður-  
dælingar af 70°C vatni á stað D





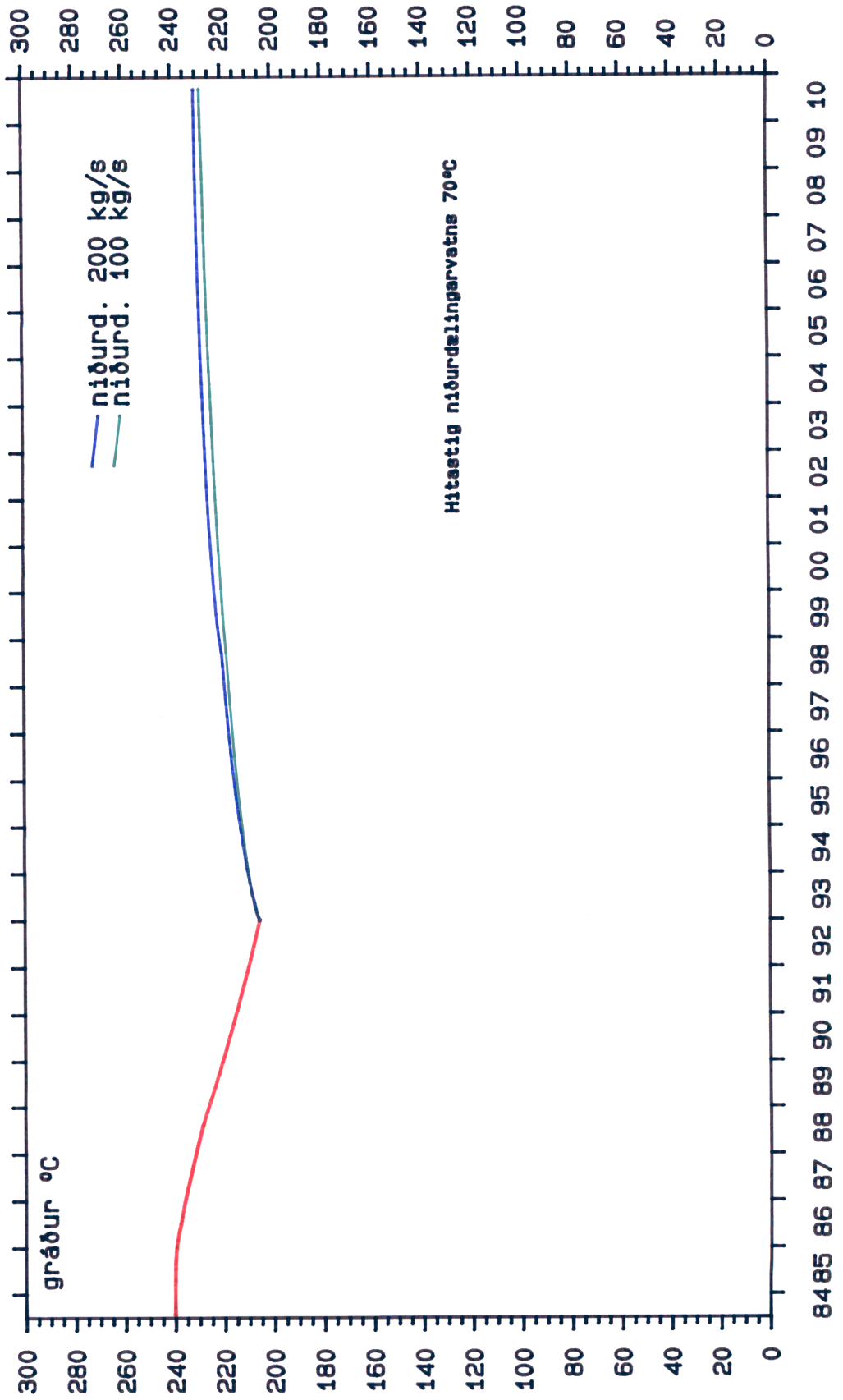
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað D



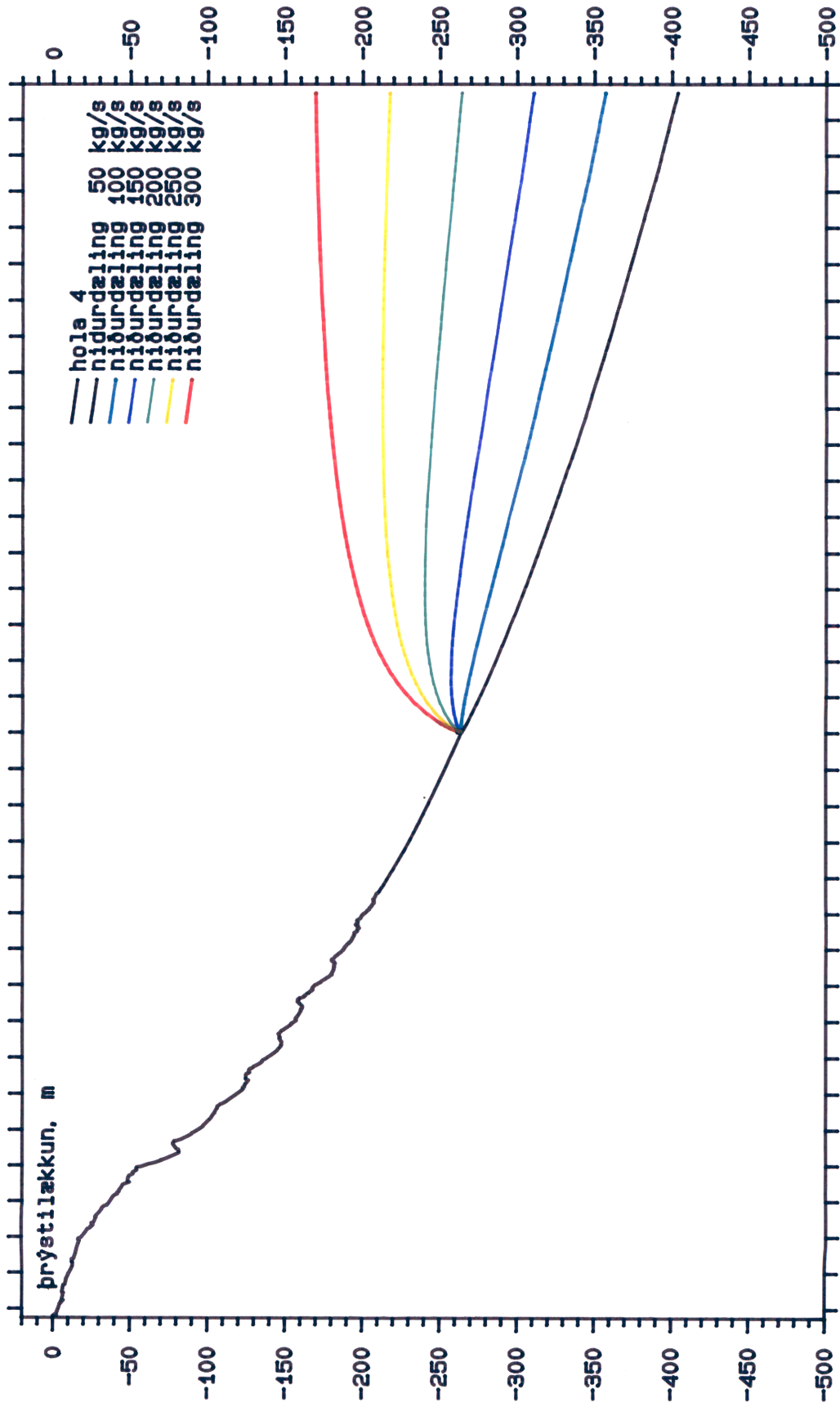
SVARTSENGI

Reiknað hitastig í hól 6  
árin 1993 - 2010 þegar dælt  
er niður í stað D



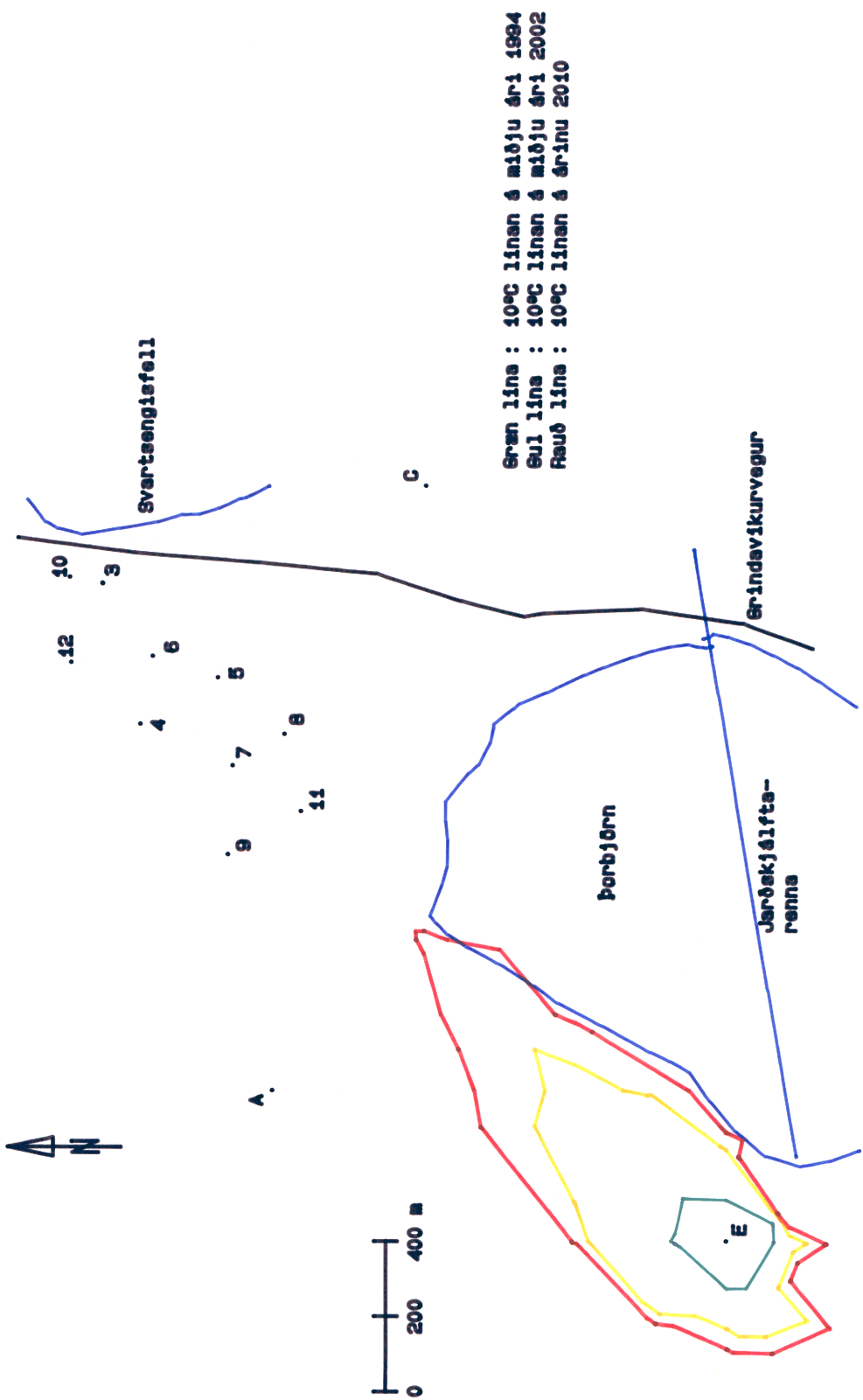
SVARTSENGI

Vatnsborð í holu 4 1976 - 2010  
niðurdælingarstaður E frá 1993



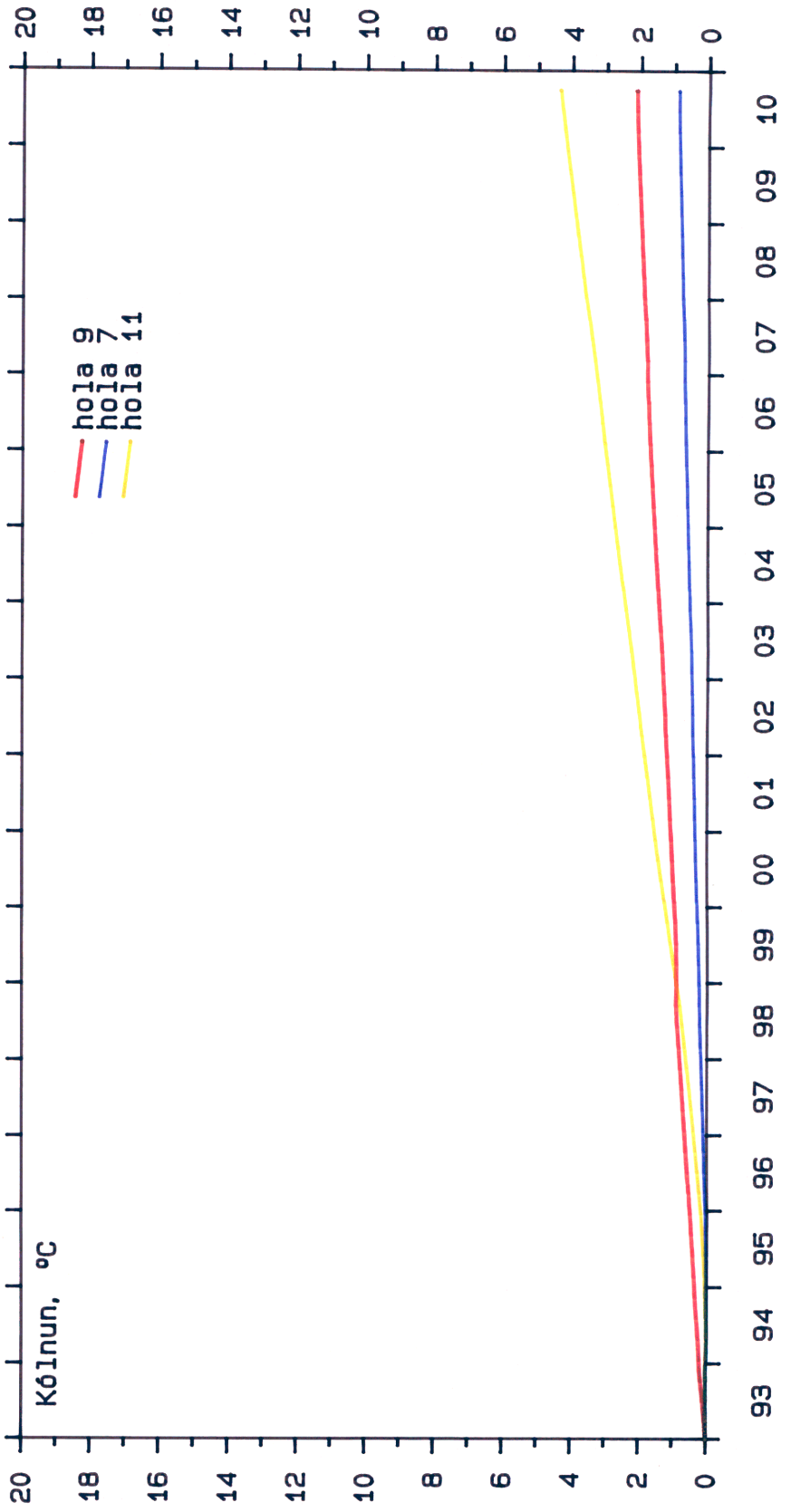
SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
líunnar vegna 200 kg/s niður-  
dælingar af 70°C vatni á stað E



SVARTSENGI

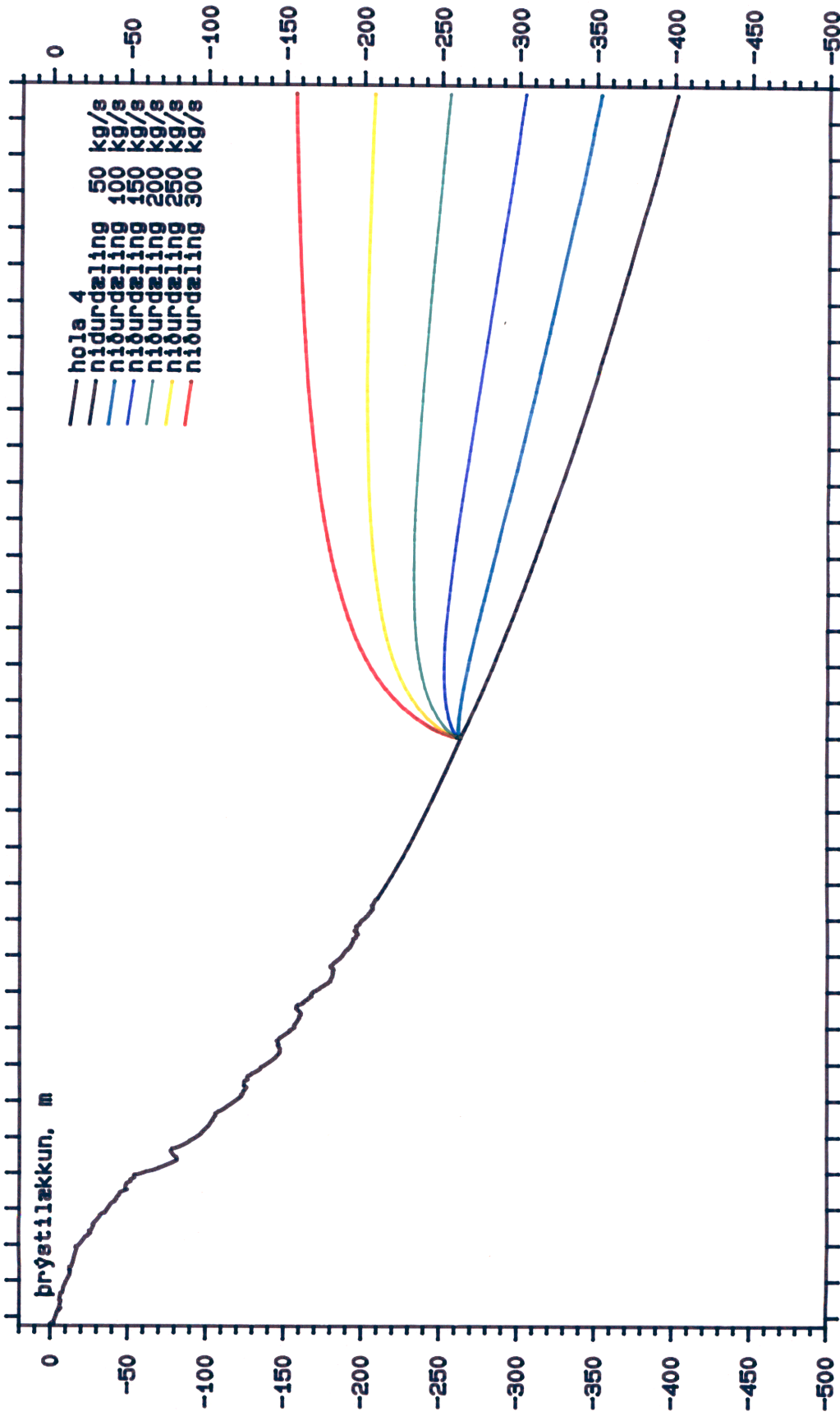
Reiknuð kólinn árin 1993 - 2010  
vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað E



SVARTSENGI

Vatnsborð 1 hola 4 1976 - 2010  
niðurdælingarstaður F, hola 12

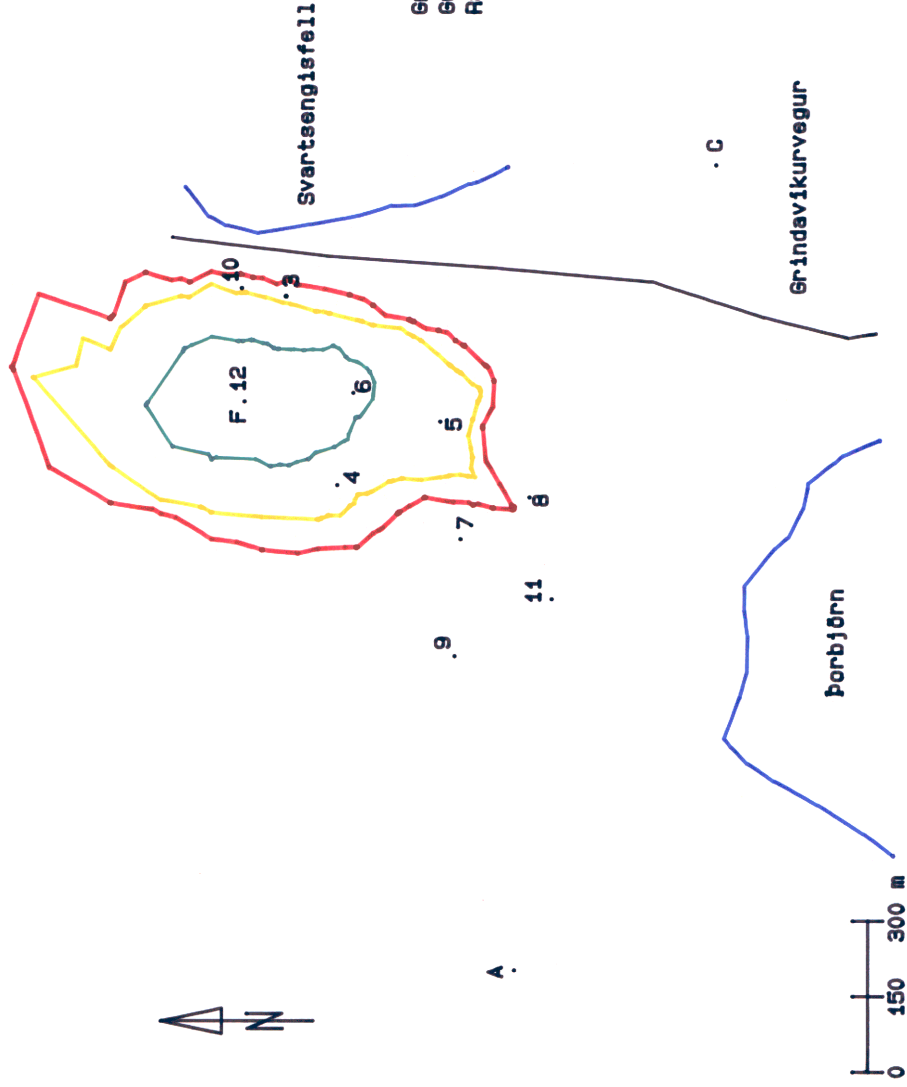
ORKUSTOFNUN



7677 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

SVARTSENGI

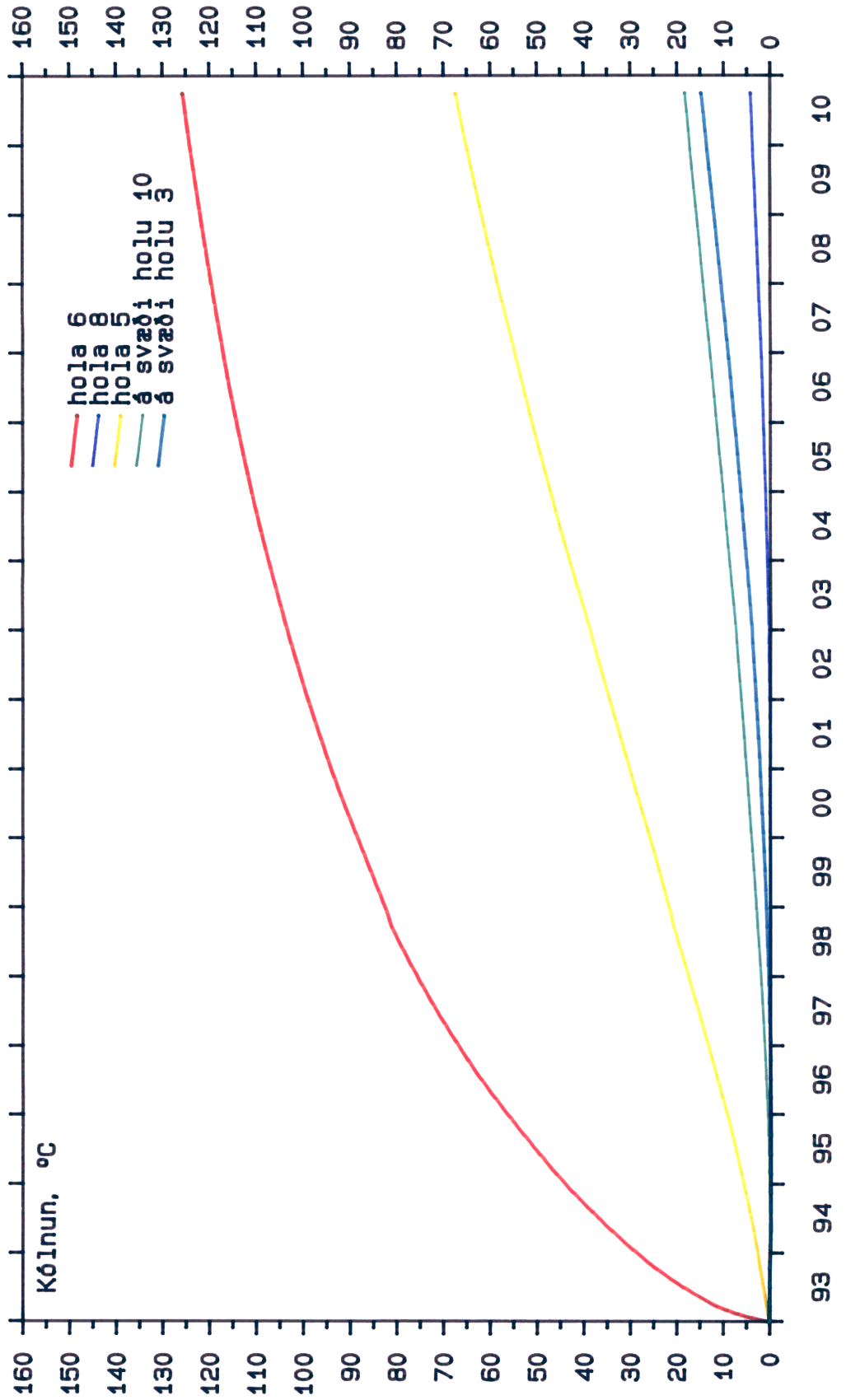
Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
líunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað F. hola 12



Græn lína : 10°C línan á miðju ári 1994  
Gul lína : 10°C línan á miðju ári 2002  
Rauð lína : 10°C línan á árinu 2010

SVARTSENGI

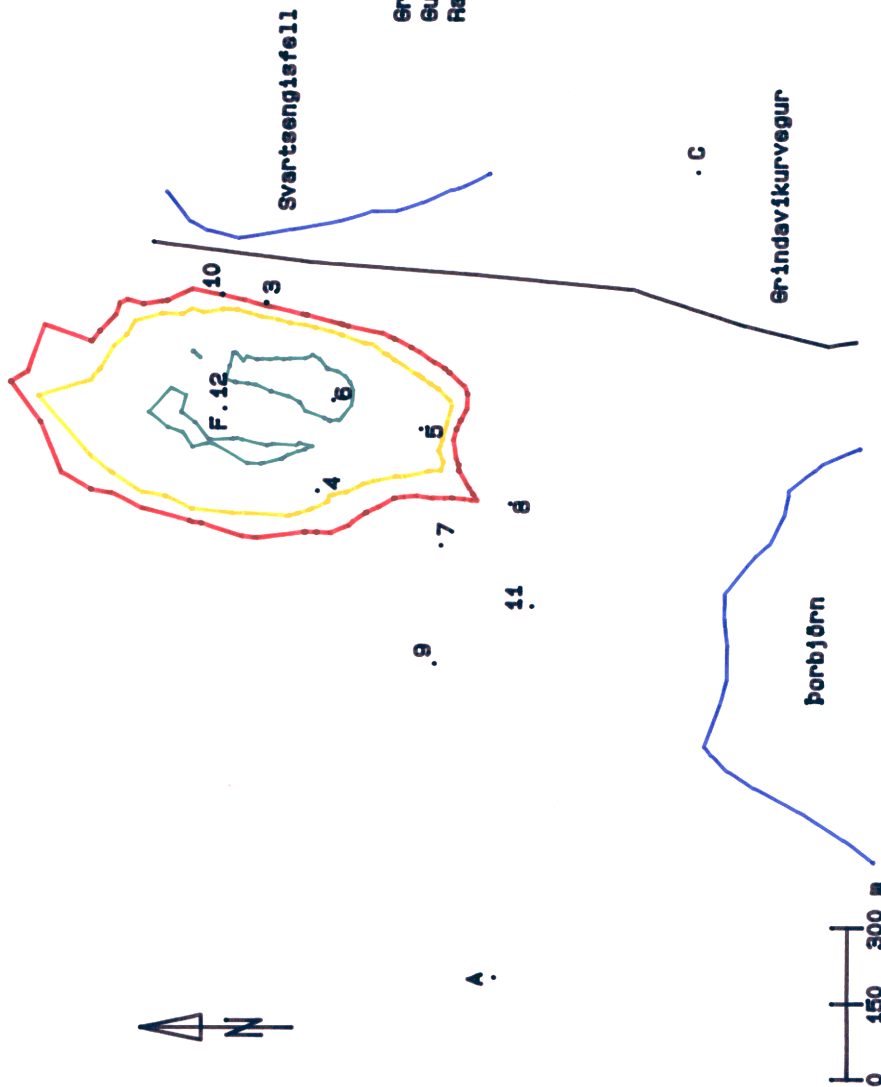
Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað F, hola 12





SVARTSENGI

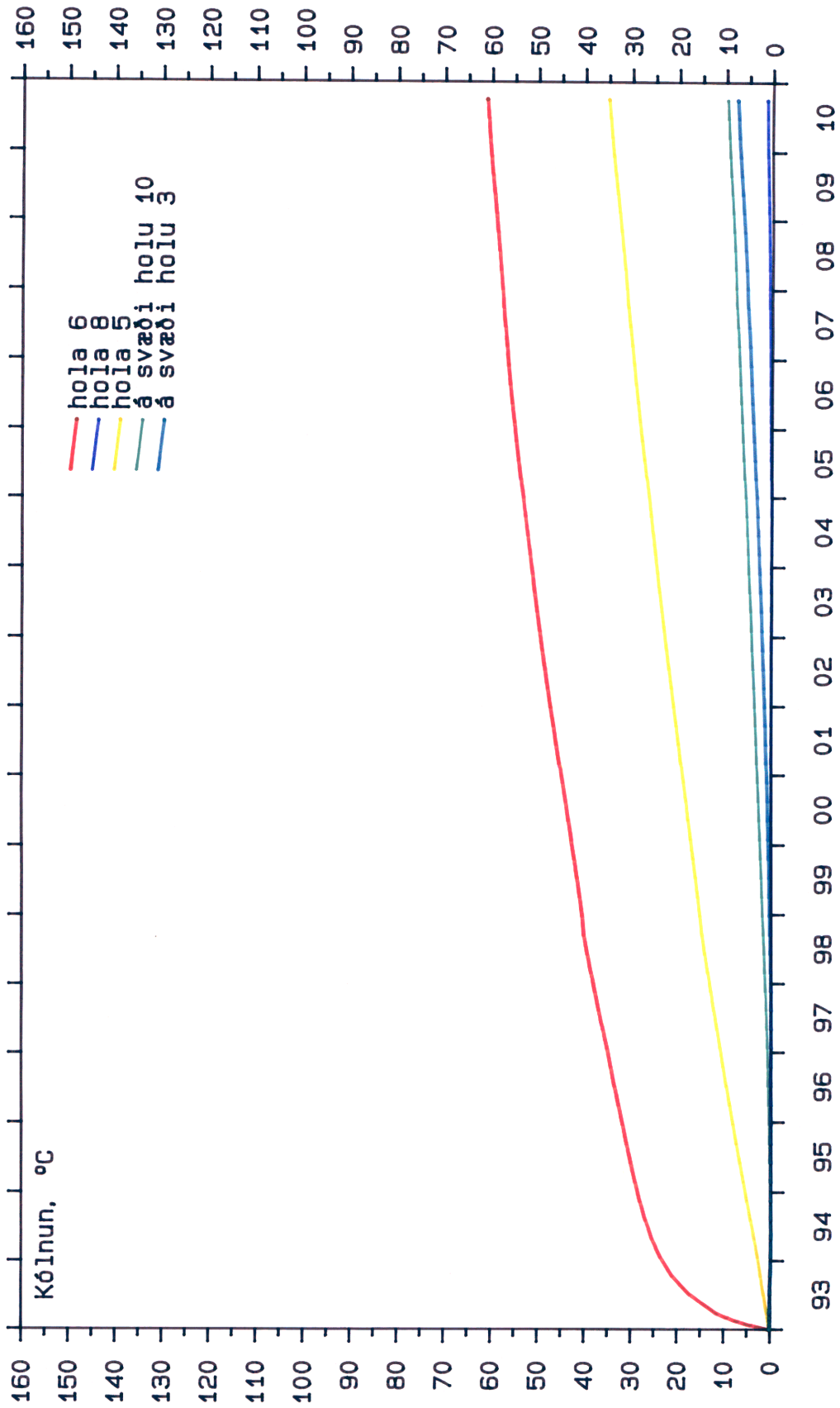
Reiknuð færsla 10°C kólinnar  
línunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað F. hola 12



Græn lína : 10°C línan á miðju ári 1994  
Blá lína : 10°C línan á miðju ári 2002  
Rauð lína : 10°C línan á árinu 2010

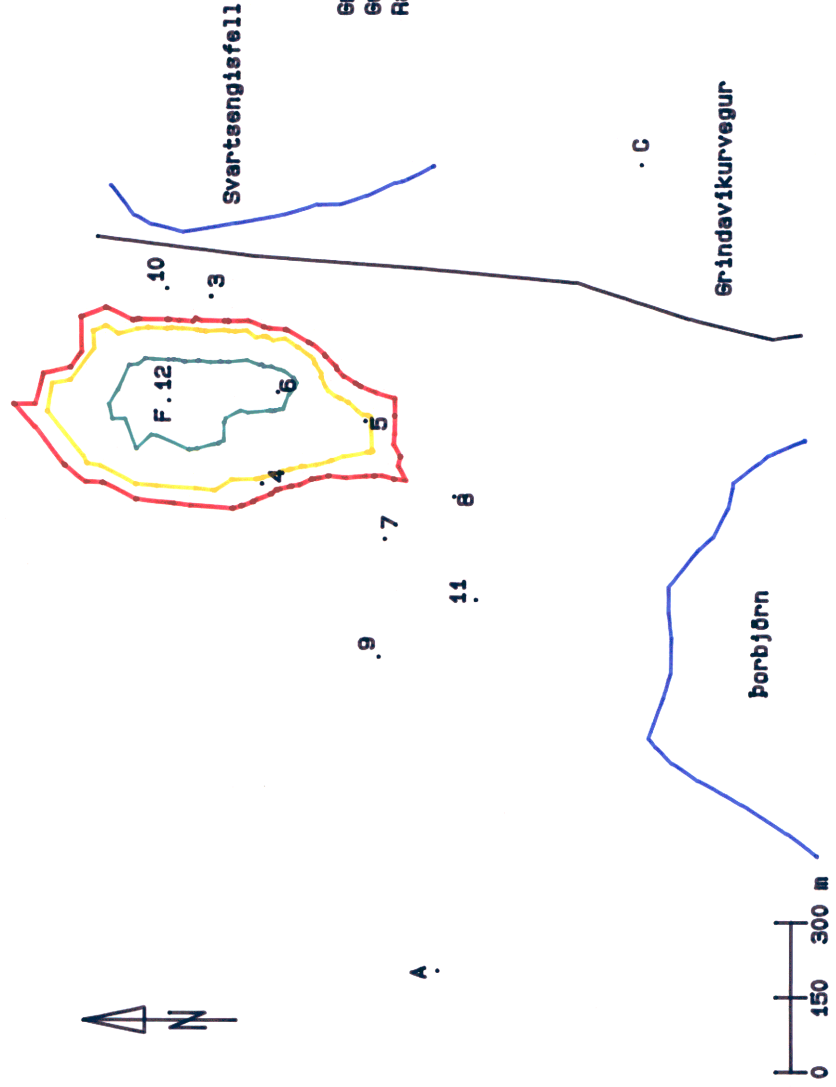
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað F, hola 12



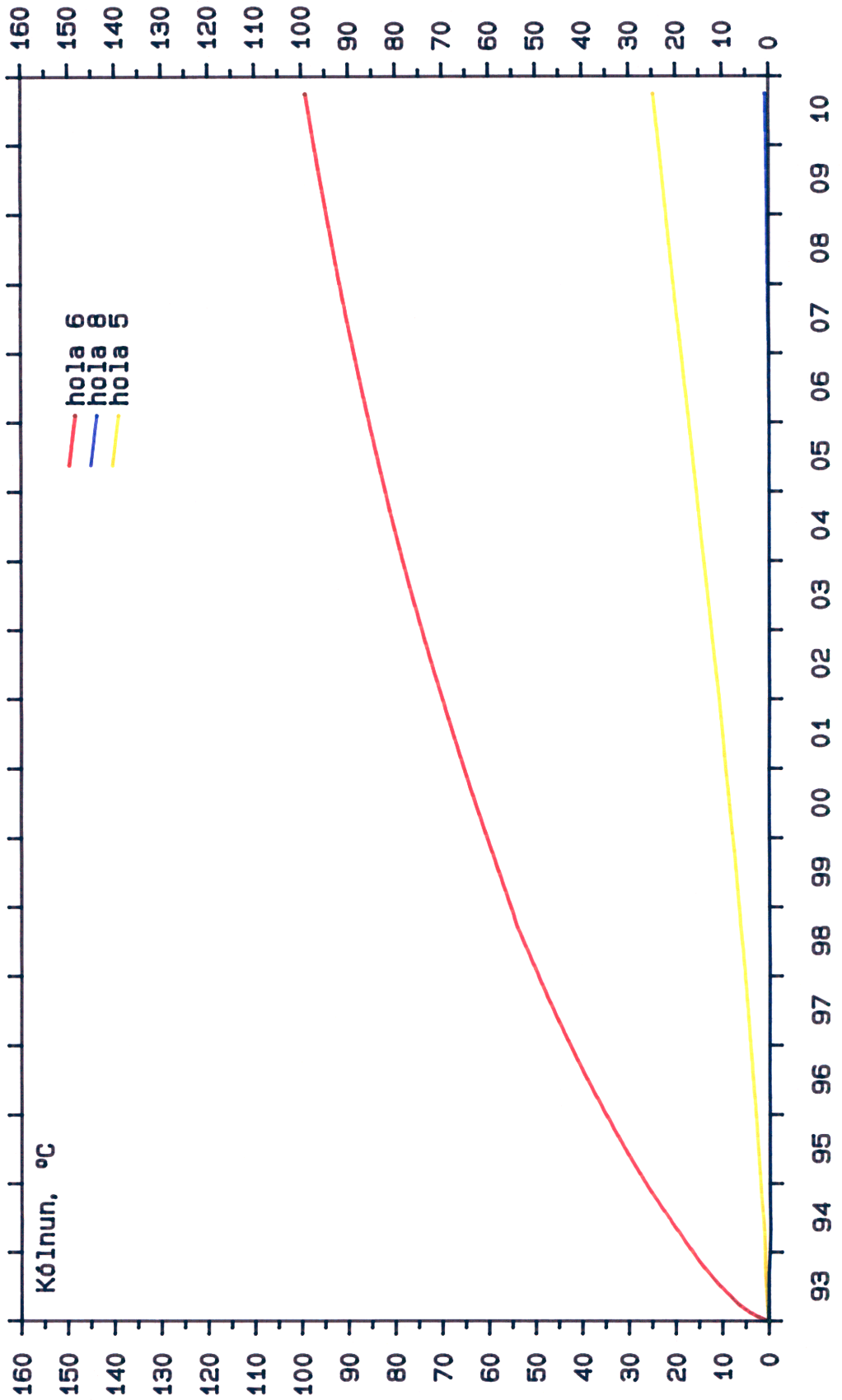
SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
líunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað F. hola 12



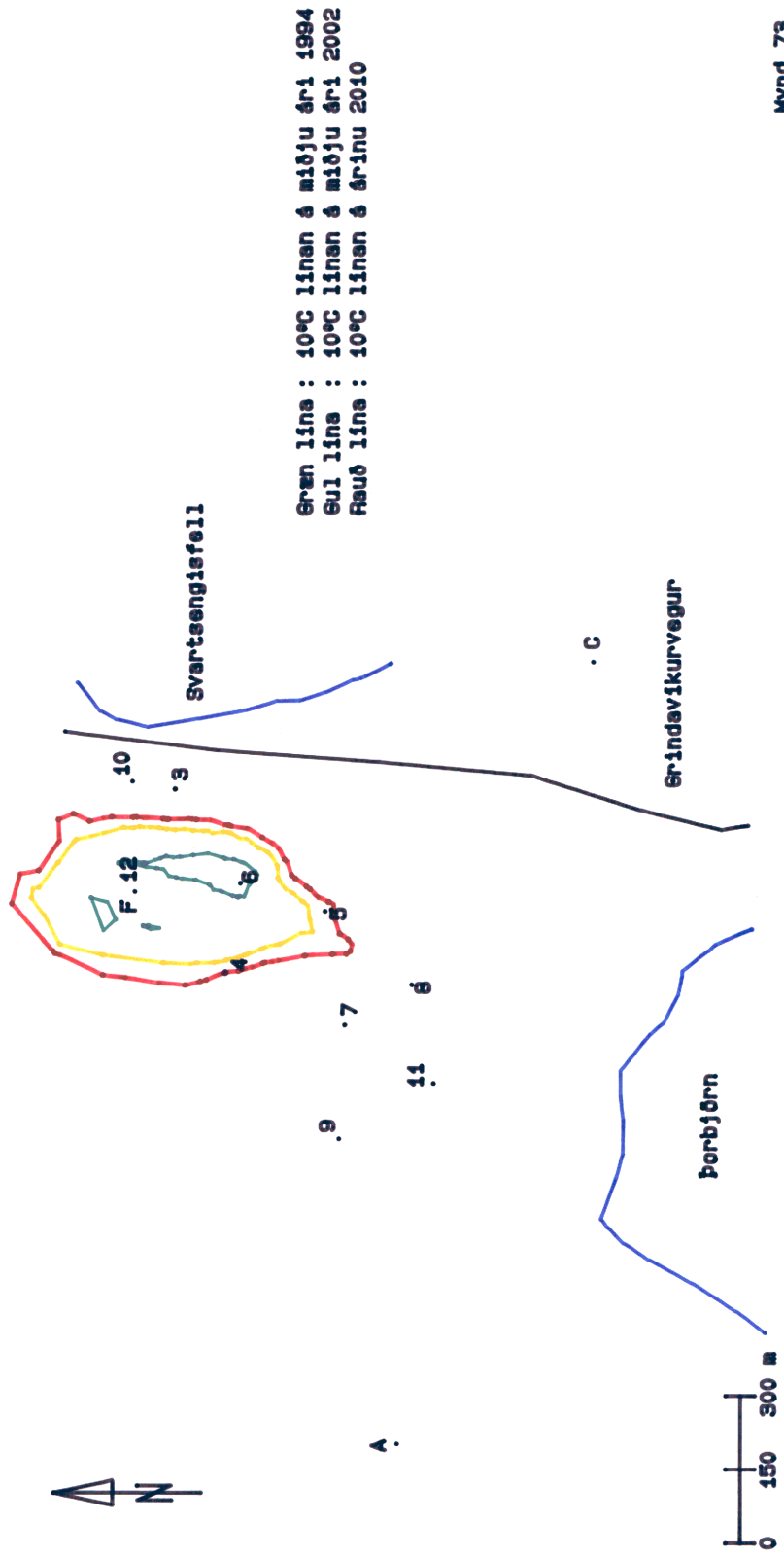
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað F, hola 12



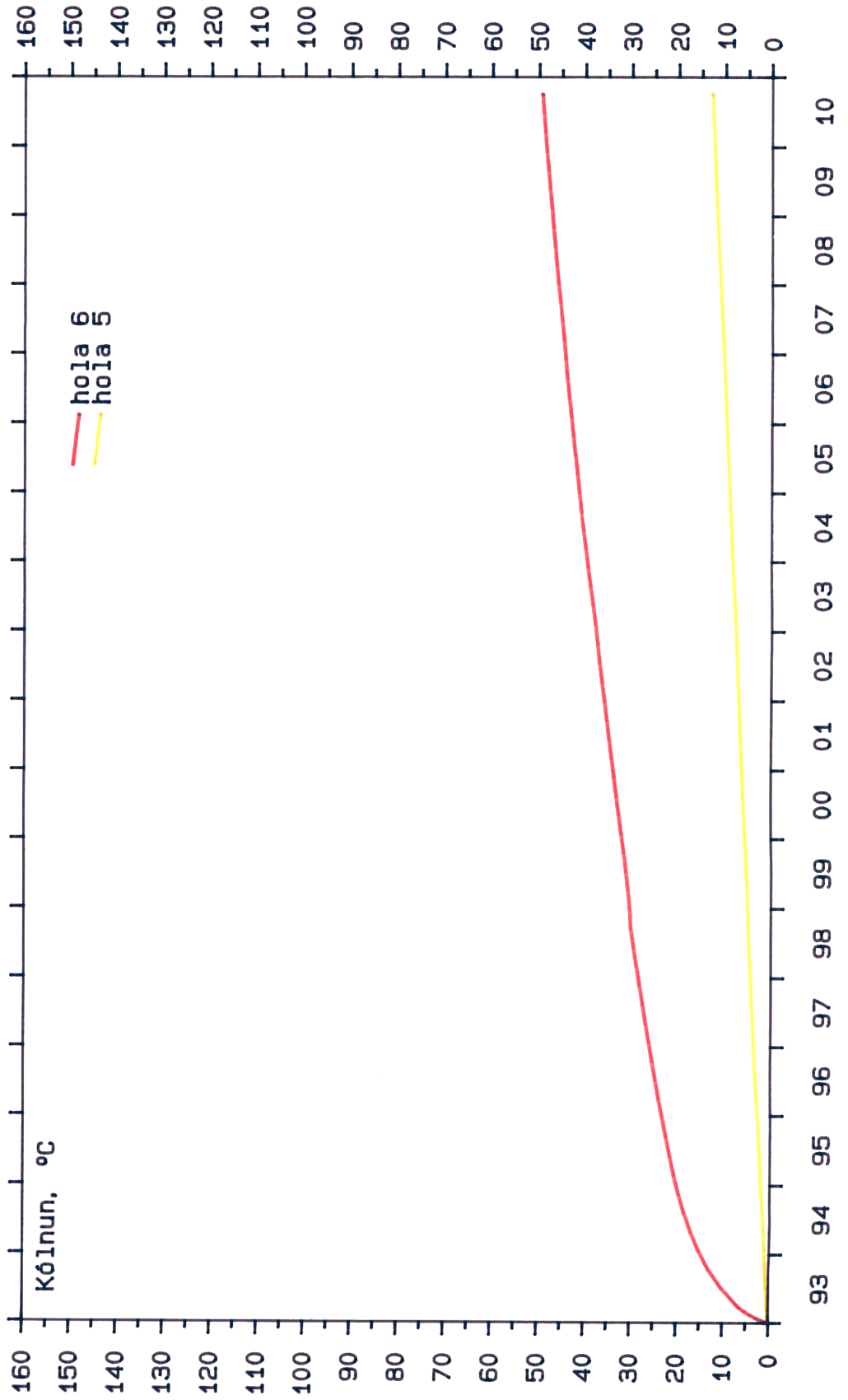
SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
lífunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað F. hola 12



SVARTSENGI

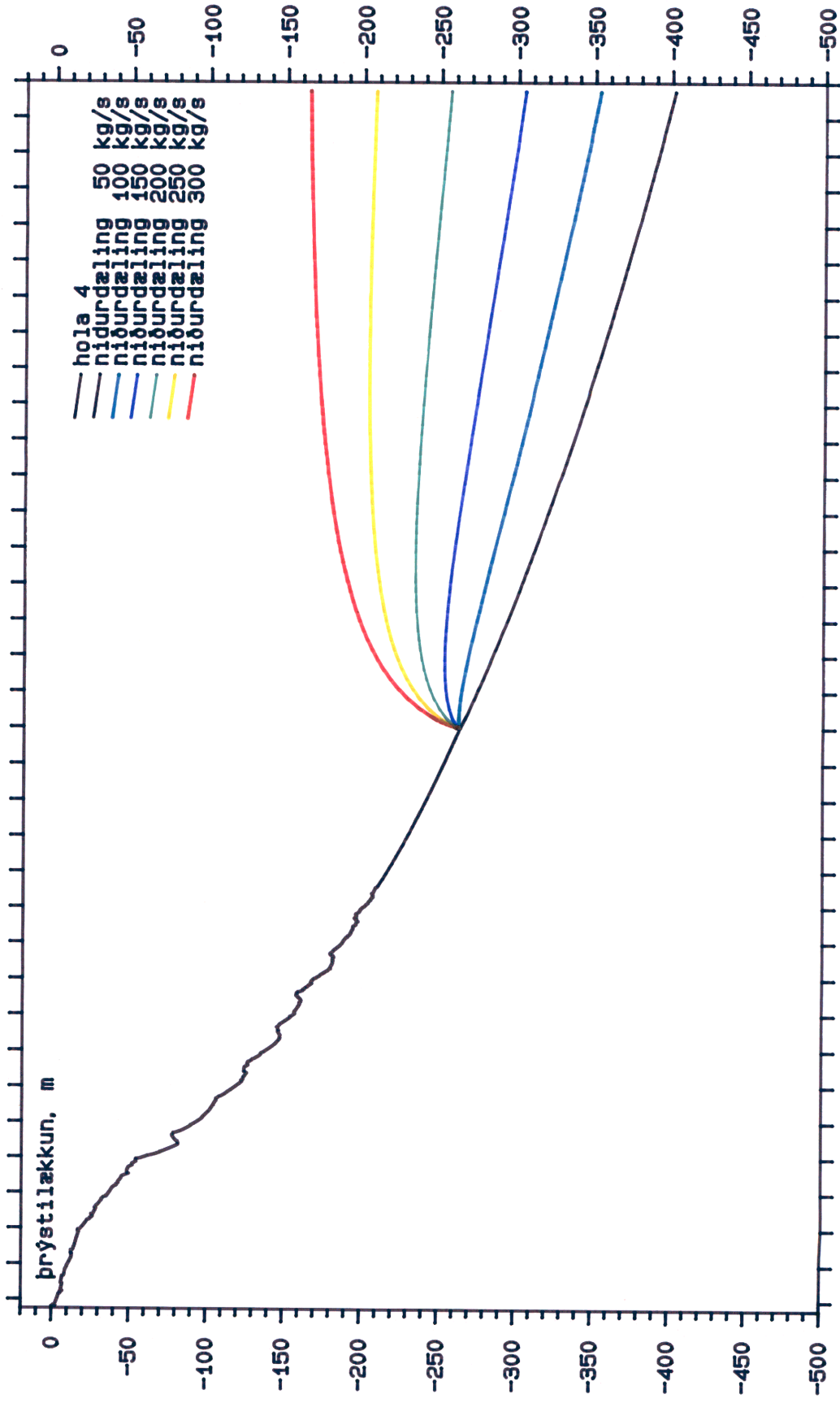
Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað F. hola 12



SVARTSENGI

Vatnsborð 1 hólú 4 1976 - 2010  
niðurdælingarstaður 6, frá 1993

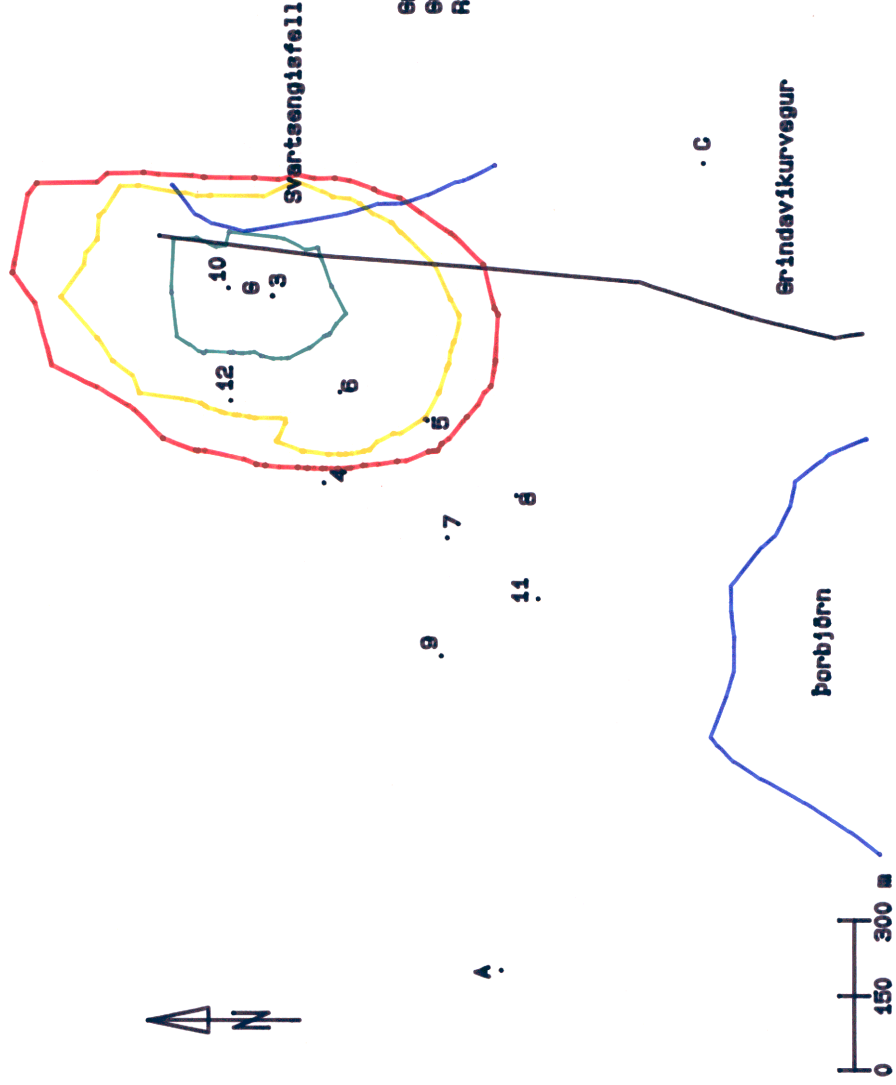
ORKUSTOFNUN



76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
línunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað G

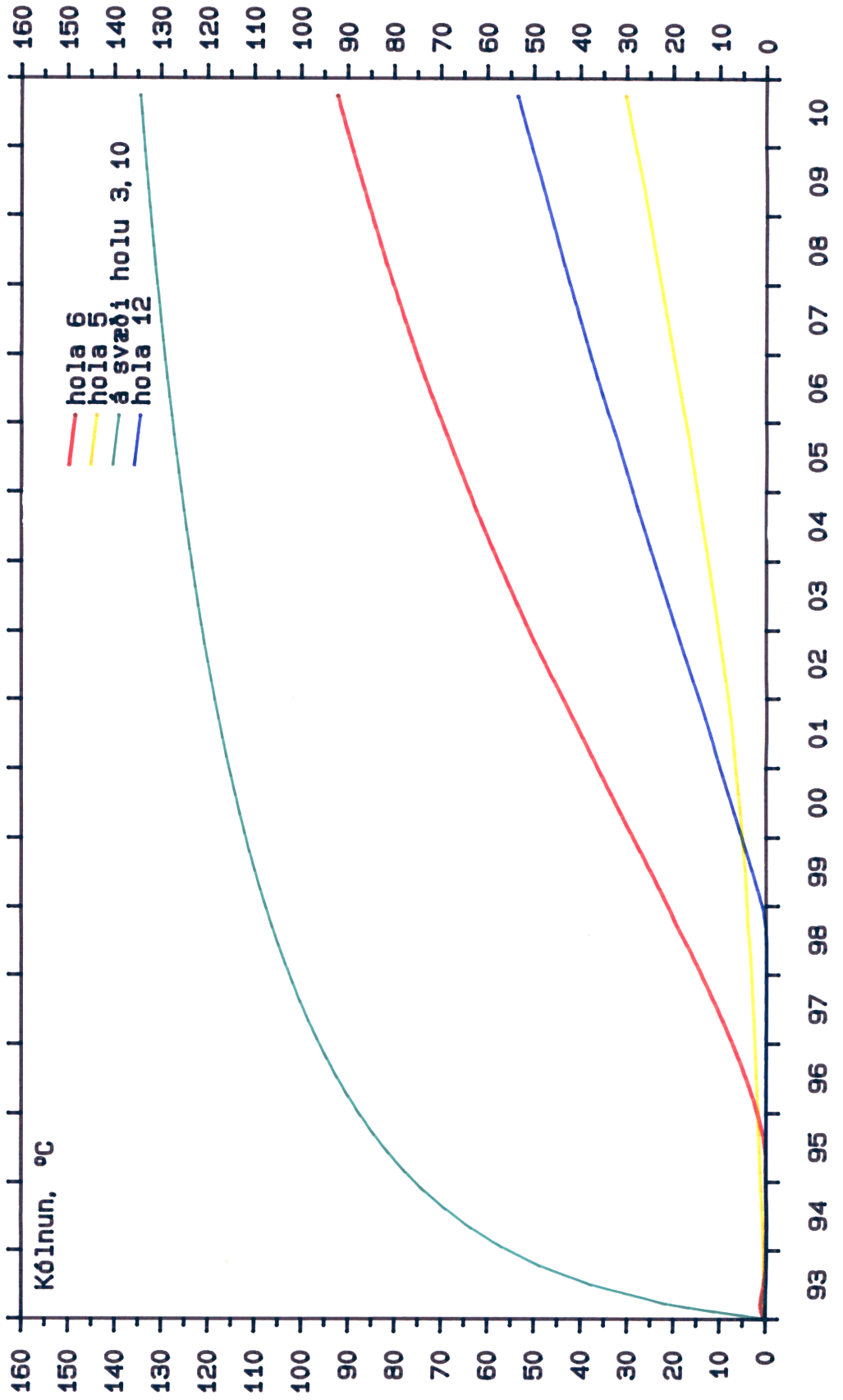


Græn lína : 10°C línan á miðju ári 1984  
Blá lína : 10°C línan á miðju ári 2002  
Rauð lína : 10°C línan á árinu 2010



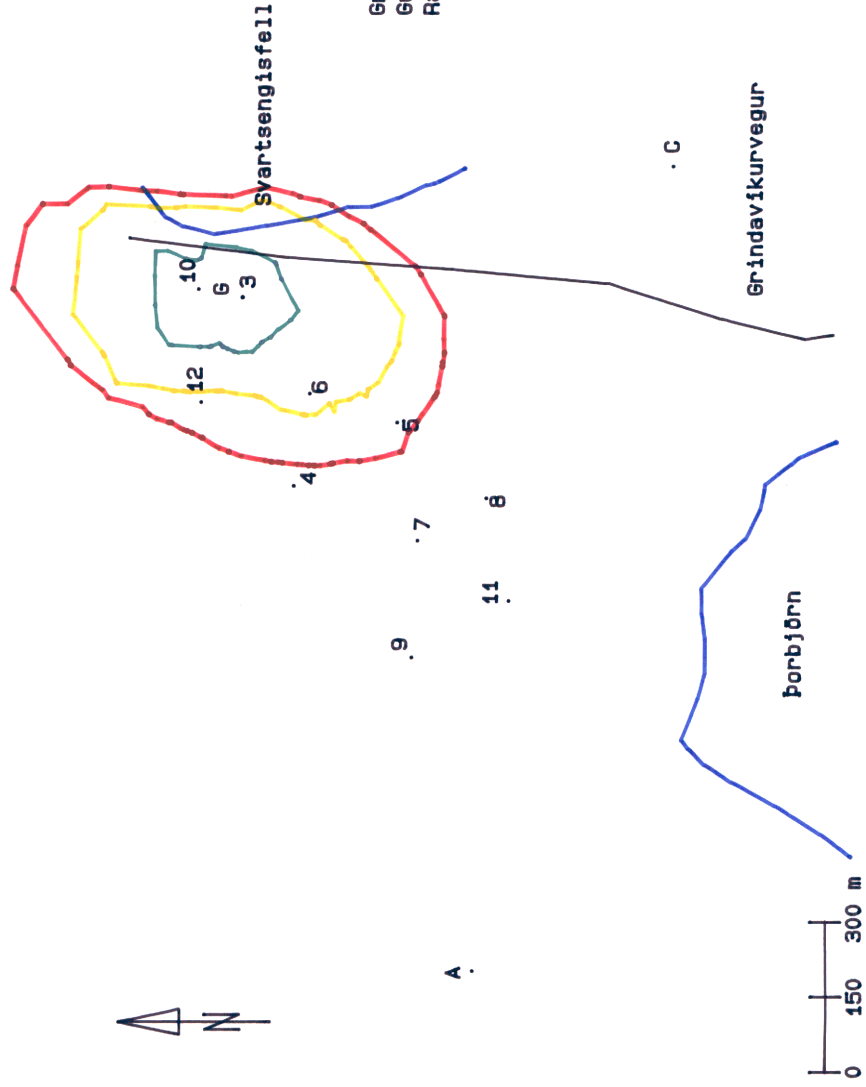
SVARTSENGI

Reiknuð kólinun árin 1993 - 2010  
vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað 6



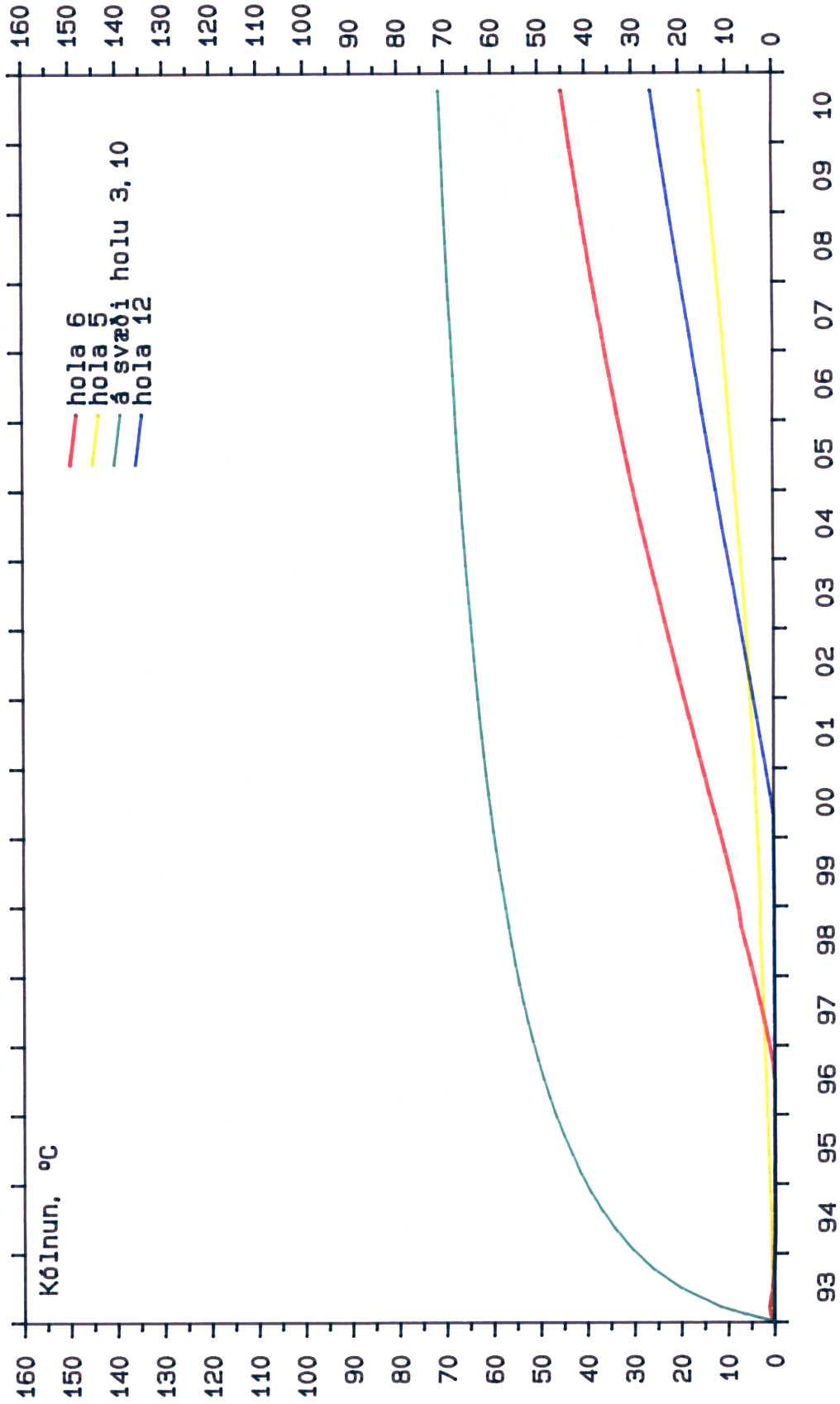
SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
línunnar vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað G



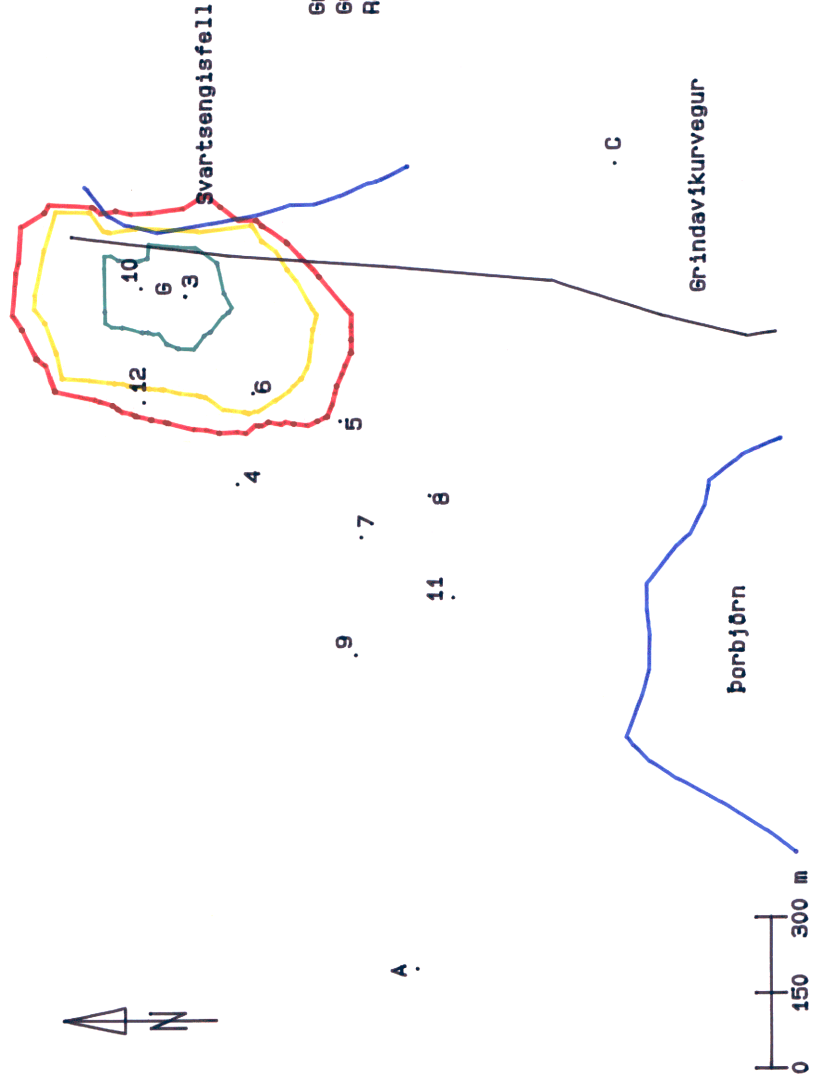
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 200 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað 6



SVARTSENGI

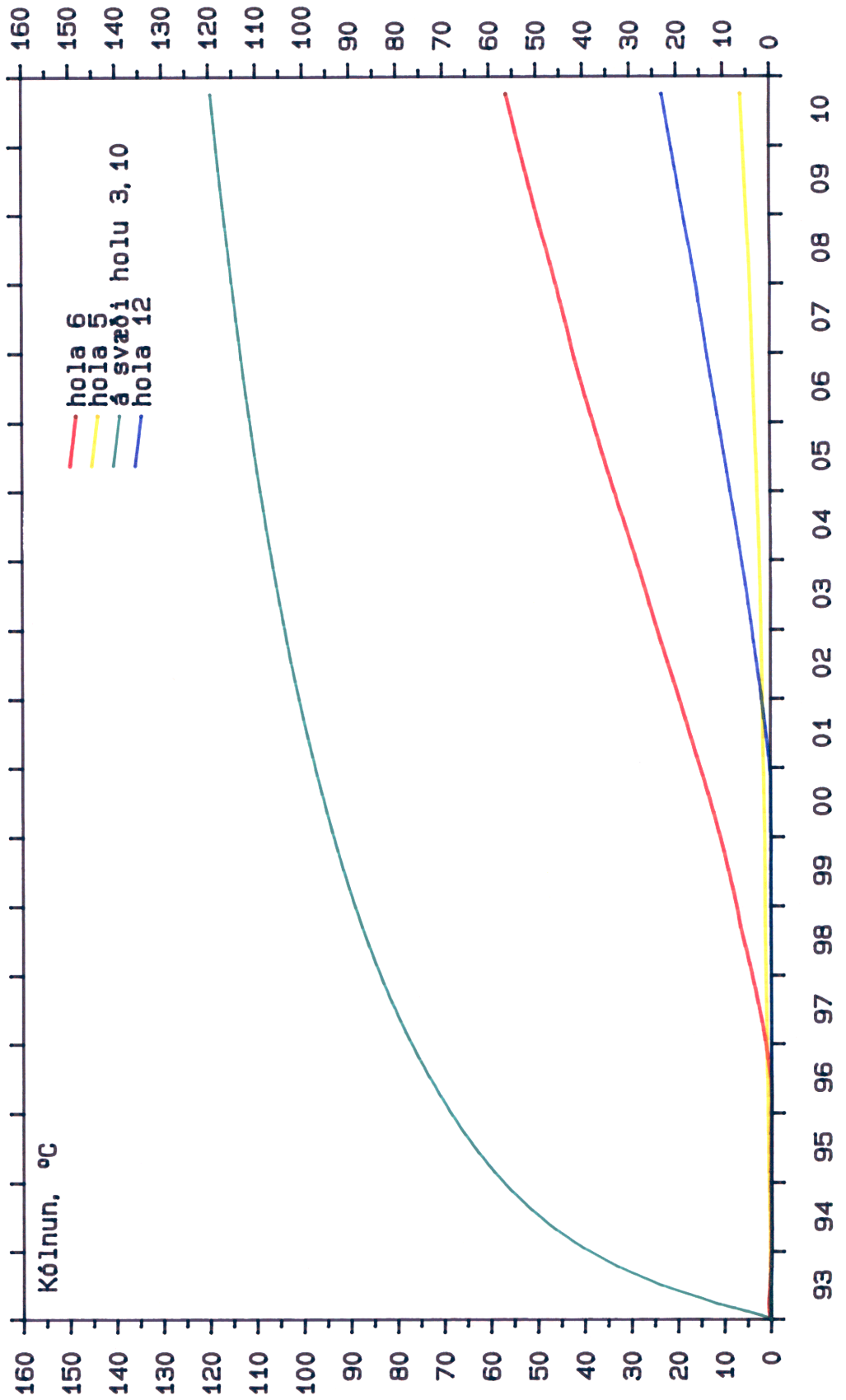
Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
líunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað G



Græn lína : 10°C línan á miðju ári 1994  
Gul lína : 10°C línan á miðju ári 2002  
Rauð lína : 10°C línan á árinu 2010

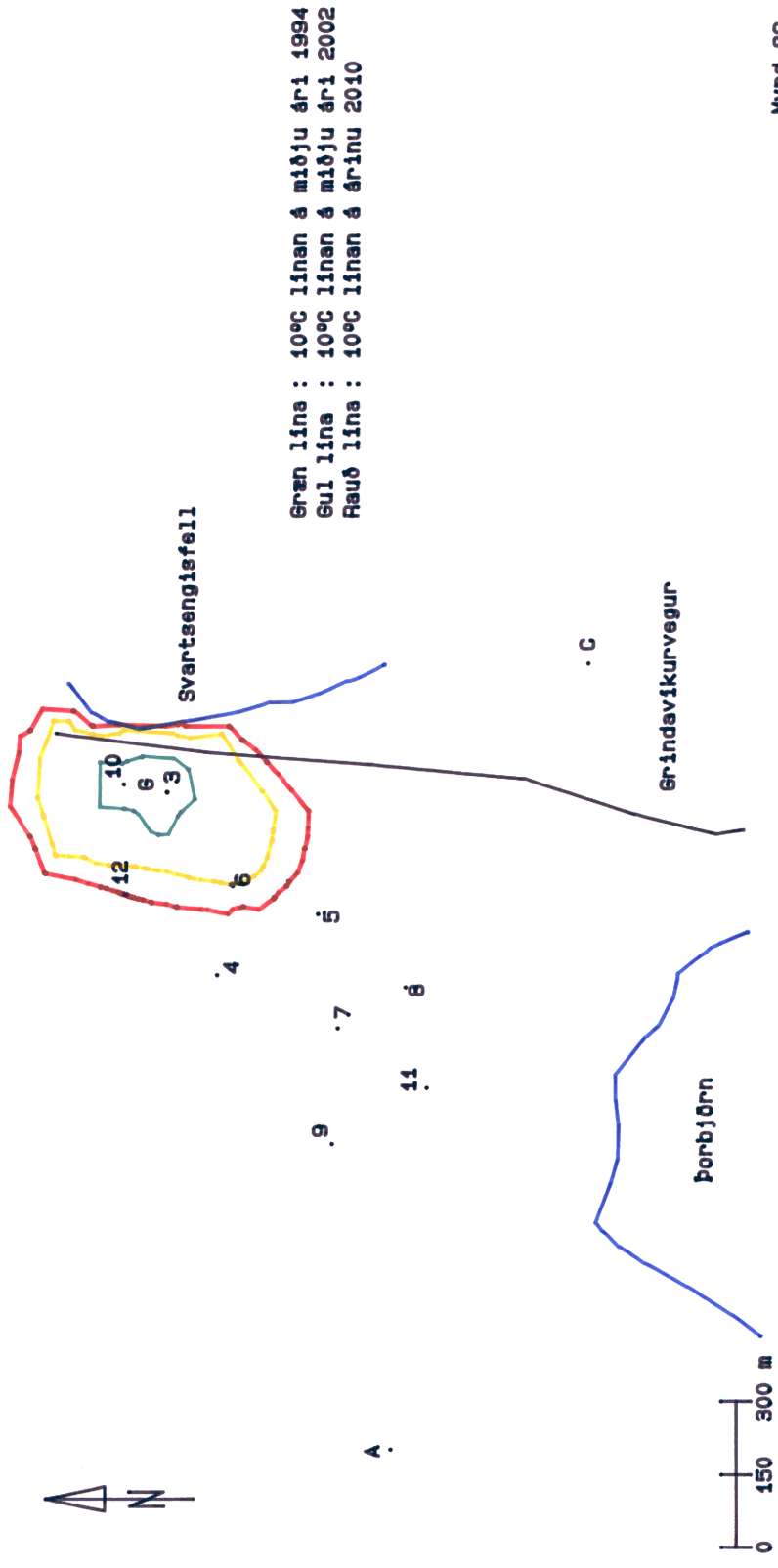
SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 70°C vatni á stað 6



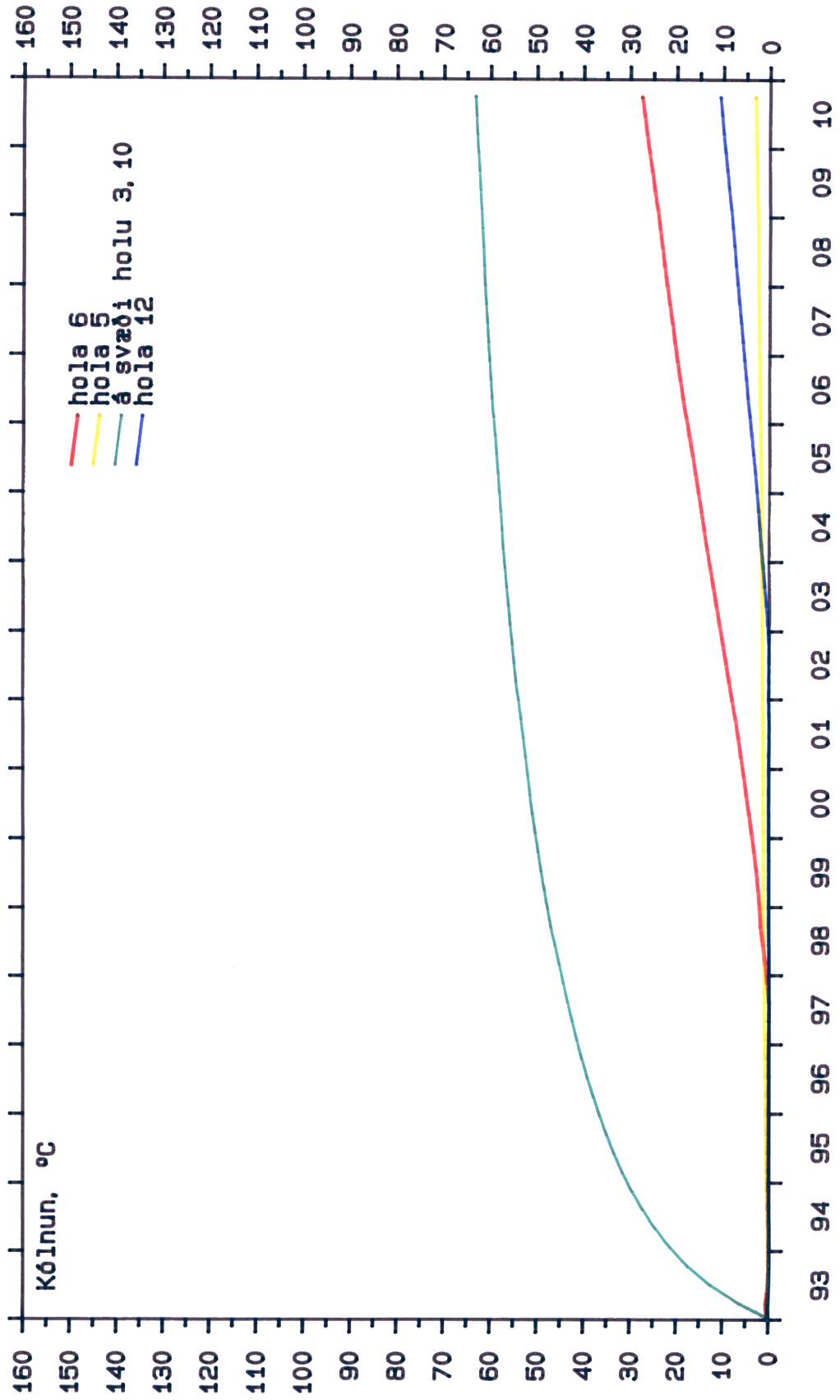
SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar  
línunnar vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað G



SVARTSENGI

Reiknuð kólnun árin 1993 - 2010  
vegna 100 kg/s niðurdælingar  
af 150°C vatni á stað 6



**VIÐAUKI**

**Straumfræðilíkan**



Við þurfum nú að ákvarða  $q_1$  og  $q_2$ . Við gerum ráð fyrir lóðréttu streymi í gegnum móbergslagið sem hefur þykktina  $m$ .

Rennslið  $q_1$  er þá gefið með:

$$q_1 = - \frac{k}{\mu} \frac{\delta}{\delta z} \left( \left( \frac{P}{\rho g} + z \right) \rho g \right) = - \frac{k \rho g}{\mu m} \left( h_o \frac{\rho_o}{\rho} - h \right) \quad 3$$

þar sem:

$h_o$  : þrýstihæð í efri jarðlögum, m

$\rho_o$  : eðlismassi vatns í efri jarðlögum,  $\text{kg/m}^3$

Við skilgreinum í móbergslaginu

$$v_1 = \frac{k \rho g}{\mu m} \quad 4$$

Rennslið fæst þá sem:

$$q_1 = - v_1 \left( h_o \frac{\rho_o}{\rho} - h \right) \quad 5$$

Rennslið frá suðusvæðinu fæst á sama hátt:

$$q_2 = - \frac{k}{\mu} \frac{\delta}{\delta z} \left( \left( \frac{P}{\rho g} + z \right) \rho g \right) = - \frac{k \rho g}{\mu m} \left( h_s \frac{\rho_s}{\rho} - h \right) \quad 6$$

þar sem:

$h_s$  : þrýstihæð á suðusvæði, m

$\rho_s$  : eðlismassi vatns á suðusvæði,  $\text{kg/m}^3$

Við fáum því eins og áður rennsli frá suðusvæðinu

$$q_2 = - v_2 \left( h_s \frac{\rho_s}{\rho} - h \right) \quad 7$$

2. Á suðusvæði.

$$\frac{\delta}{\delta x} \left( \frac{\rho g k_{xx}}{\mu} b \frac{\delta h}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left( \frac{\rho g k_{yy}}{\mu} b \frac{\delta h}{\delta y} \right) + Q + v_2 \left( h_{so} \frac{\rho_s}{\rho} - h_i \right) e^{-\lambda t}$$

$$+ v_2 \int_0^t \frac{\delta h}{\delta t} e^{-\lambda(t-\tau)} d\tau + \frac{\lambda}{\lambda} \int_0^t Q_s e^{-\lambda(t-\tau)} d\tau$$

13

þar sem  $h_i$  er upphafsþrýstihæð í jarðhitakerfinu. Líkingar 12 og 13 eru leystar tölulega með smábútaaðferð Galerkins með þríhyrningslaga bútum. Hnitakerfi er snúið í meginásastefnur lektar í hverjum þríhyrningi.

Við skulum að lokum átta okkur á þrýstihæð í jarðhitakerfinu og utan þess. Við reiknum þrýstihæðina frá 1000 m dýpi. Þá fæst:

$$h_o \frac{\rho_o}{\rho} = 1000 \frac{993,74}{826,95} = 1202 \text{ m}$$

$$h_i = \frac{83,4 \cdot 10^5}{9,81 \cdot 826,95} = 1028 \text{ m}$$

Af þessu sést að undirþrýstingur á jarðhitasvæðinu í upphafi er um 200 m. Ef við gerum ráð fyrir að suðuborð hafi verið upphaflega á 300 m dýpi fæst:

$$h_{so} \frac{\rho_s}{\rho} = 949,1 \frac{859,2}{826,95} = 986,1 \text{ m}$$

$$h_{so} = \frac{21 \cdot 10^5}{9,81 \cdot 859,2} + (1000 - 300) = 949,1 \text{ m}$$

sem sýnir upphaflega þrýstinginn á suðusvæðinu Reiknilíkanið sem er sett fram hér á undan er ekki vel til þess fallið að reikna náttúrulegt ástand jarðhitakerfisins, til þess vantar að taka tillit til fleiri atriða við uppbyggingu þess. Við útreikninga í skýrslunni er því eingöngu miðað við breytingar sem verða á því ástandi vegna vinnslu úr borholum.

Í skýrslunni er gerð grein fyrir breytingum sem verða á styrk efna og hitabreytingu í jarðhitakerfinu. Til þess eru notaðar líkingar sem lýsa flutningi efna og hita. Eftirfarandi jafna lýsir breytingu á styrk efna:

$$\frac{\delta}{\delta x} (\varphi b D_{xx} \frac{\delta c}{\delta x}) + \frac{\delta}{\delta y} (\varphi b D_{yy} \frac{\delta c}{\delta y})$$

14

$$- u b \frac{\delta c}{\delta x} - v b \frac{\delta c}{\delta y} = \varphi b \frac{\delta c}{\delta t} - (c_o - c) v_1 - Q(c_w - c)$$

SVARTSENGI  
Líkan af jarðhitageymi

